

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Комп'ютерно-інтегрованих оптичних та
навігаційних систем**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Надія БУРАУ
«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
системи та технології в приладобудуванні»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
на тему: «Автоматизований стенд для тестування плат»**

Виконав:

студент ІV курсу, групи ПГ-11

Устименко Віталій Юрійович _____

Керівник:

к.т.н., доц. каф. КІОНС

Салегін Олександр Миколайович _____

Рецензент:

к.т.н, ст. викл. каф. ІВТ

Морозова Марія Миколаївна _____

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет) _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність _____ 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія Бурау _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Устименку Віталію Юрійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту _____ Автоматизований стенд для тестування плат _____

Науковий керівник проєкту Сапегін Олександр Миколайович, к.т.н. _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « _____ » _____ 2025 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту « _____ » _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту:

Розмір тестованої плати 80x100 мм, маса плити до 0.4 кг, максимальна сила притискання плати 20 н, мікроконтролер керування на базі Arduino.

4. Зміст роботи Вступ. 1. Огляд сучасних засобів тестування плат. 2. Розробка кінематичної схеми. 3. Підбір компонентів системи. 4. Розробка тривимірного макету системи. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Кінематична схема А1, складальний кресленник А1, тривимірна модель А1, деталювання А1, структурна схема А1.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Огляд і аналіз літератури	23.04.2025 р.	
2.	Розробка кінематичної схеми	30.04.2025 р.	
3.	Вибір елементної бази приладу	05.05.2025 р.	
4.	Розробка 3Д моделі проєкту	20.05.2025 р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до захисту	01.06.2025 р.	

Студент

(підпис)

Віталій УСТИМЕНКО

(ініціали, прізвище)

Керівник дипломного проєкту

(підпис)

Олександр САПЕГІН

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки автоматизованого стенду для тестування друкованих плат, з урахуванням сучасних вимог до швидкості, точності та гнучкості тестування в умовах малосерійного та серійного виробництва.

У першому розділі проведено огляд існуючих рішень, методів тестування та класифікацій стендів, зокрема ручних, напівавтоматизованих і автоматизованих систем. Особливу увагу приділено технічним засобам керування, що включають мікроконтролери, системи комутації, інтерфейси обміну даними та програмне забезпечення.

У другому розділі виконано аналіз типових функціональних вимог до таких стендів, розроблено структуру керування та обґрунтовано вибір основних електронних компонентів. У результаті створено концепцію доступної та ефективної системи для перевірки друкованих плат, що може бути використана в освітніх установах або невеликих виробничих майстернях.

Ключові слова: тестування друкованих плат, автоматизований стенд, мікроконтролер, комутація, функціональний контроль.

ABSTRACT

This qualification thesis addresses the development of an automated test stand for printed circuit board (PCB) testing, taking into account modern requirements for testing speed, accuracy, and flexibility in small-scale and mass production environments. The work includes a review of existing solutions, testing methods, and classifications of test stands, including manual, semi-automated, and fully automated systems. Special attention is given to the control systems, which include microcontrollers, switching systems, data exchange interfaces, and software.

The study includes an analysis of typical functional requirements for such test stands, the development of a control structure, and the justification for selecting key electronic components. As a result, a concept of an affordable and efficient PCB testing system was developed, suitable for use in educational institutions or small production workshops.

Keywords: printed circuit board testing, automated test stand, microcontroller, switching system, functional diagnostics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ	9
1.1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ СТЕНДІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ	9
1.2 ІСТОРІЯ ВІНАЙДЕННЯ СТЕНДІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ	10
1.3 КЛАСИФІКАЦІЯ ЗА МЕТОДОМ ТЕСТУВАННЯ.....	11
1.4 КЛАСИФІКАЦІЯ ЗА ПРИНЦИПОМ РОБОТИ	15
1.5 ОГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	17
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ	22
2.1 КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТЕНДУ	22
2.2 АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	26
2.3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ	35
2.4 РОЗРОБКА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ	42
2.5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	51
2.6 ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	54
ДОДАТОК А.....	57
ДОДАТОК Б.....	59
ДОДАТОК В	60
ДОДАТОК Г	65
ДОДАТОК Д.....	66

ВСТУП

У сучасних умовах зростаючих вимог до надійності й точності електромеханічних систем особливої уваги здобуває автоматизація система тестування та контролю електронних плат. Так як, ручне тестування є досить повільним, схильним до людських помилок, також цей процес є сильно затратний людською енергією, через це зростає популярність в автоматизації тестування. Особливої актуальності набуває створення компактних, доступних гнучких у модернізації стенди, які можна використовувати на середньо серійних виробництвах та навчальних лабораторіях.

Зростання складності електронних схем, зменшення розмірів компонентів, багатошаровість плат та підвищення щільності монтажу вимагають використання сучасних методів контролю. Традиційні способи тестування, що передбачають ручну перевірку, більше не відповідають сучасним вимогам. Вони характеризуються високою трудомісткістю, залежністю від кваліфікації оператора, низькою точністю та відсутністю стандартизації результатів. Натомість, автоматизовані стенди для тестування плат дозволяють досягти високої повторюваності, точності, швидкості обробки, а також забезпечити збереження результатів у цифровому вигляді.

Проте на практиці впровадження промислових автоматизованих рішень пов'язане з рядом викликів. Висока вартість обладнання, складність інтеграції, відсутність гнучкості при зміні форм-фактору плат або зміні серій виробництва — все це обмежує широке застосування таких систем у малому та середньому бізнесі, а також у навчальних закладах, які готують фахівців у галузі електроніки.

Таким чином, актуальність даної дипломного проєкту полягає в пошуку рішення, яке поєднує функціональність, надійність, простоту використання та доступність. Особливий інтерес викликають стенди, побудовані на основі відкритих апаратно-програмних платформ, таких як Arduino, Raspberry Pi, ESP32, які мають широкі можливості для розробки систем автоматизованого тестування.

У межах даного проекту передбачено дослідження сучасного стану автоматизованих стендів, їх класифікацію, аналіз існуючих рішень на ринку, оцінку переваг та недоліків кожного підходу. Також буде розглянута можливість створення власної модульної системи тестування друкованих плат, яка зможе забезпечити необхідний рівень функціональності при мінімальних витратах ресурсів.

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

1.1 Огляд проблеми створення стендів для тестування друкованих плат

У сучасному виробництві друкованих плат (ДП) контроль якості відіграє важливу роль. Надійність і стабільність електронних пристроїв залежать від якості виготовлення на тестування плат ще на етапі збірки. Саме через це в промисловості широко застосовуються стенди для тестування, які забезпечують автоматизовану електричний параметрів, цілісність плат та функціональність [1].

Проте, через високу ефективність та досконале технічне рішення, існує низка проблем, пов'язана з використанням таких стендів. Одна із головних проблем це висока вартість обладнання, вартість може сягати до десятки тисяч доларів США, що не дає змоги невеликим підприємствам або навчальним закладам використовувати їх.

Іншою проблемою є те що вони мають обмежену гнучкість. Готові промислові стенди в основному розраховані на роботу з конкретними видами плат, а щоб переналаштувати під новий зразок може вимагати використання нових адаптерів або втручання фахівців, що значно збільшує вартість обслуговування [2].

Крім того багато стендів мають закритий тип, що може ускладнити модернізацію, додавання власних функцій або інтеграцію з іншими системами. Також варто зазначити, що складність конструкції багатьох готових рішень, призводить до високих вимог обслуговування, потреби проводити періодичні калібрування, заміні контактних голок та в технічній підтримці з боку виробника, що робить експлуатацію таких стендів затратну в довгостроковій перспективі [3].

Отже, існуючі рішення на ринку, хоча і забезпечують високу якість тестування, але це не є оптимальним на малосерійних, це створює потребу у

більш доступних рішеннях, які будуть більш доступні, гнучкі, які можна буде адаптувати під різні умови і типи плат без використання значних витрат ресурсів.

1.2 Історія винайдення стендів для тестування друкованих плат

Перші стенди для тестування плат були доволі простими пристроями, орієнтованими на перевірку деяких вузлів ДП і базувалися на базових технологіях того часу.

Перші стенди не були автоматизованими комплексами, а представляли собою пристрої для перевірки електричних з'єднань і працездатності окремих компонентів. Вони часто базувалися на субактивних методах виготовлення плат і простих схем, які дозволяли правильність монтажу і з'єднання. З появою перших ДП у 1902р. плати тестувалися вручну за допомогою вольтметрів та осцилографів, а також візуально перевіряючи їх на цілісність та якість монтажу [4].

У 1970-1980-ті, з'являється такий метод як «ложе цвях» (bed-of-nails), коли для кожної плати виготовлялась спеціальна панель із контактними голками (pogo pins), що дозволяло швидко та ефективно тестувати одноманітні плати у великих партіях. Недоліком такого методу є виготовлення окремих адаптерів та контактних площадок для кожного типу плати [5].

У 1980-х на заміну методу «ложе цвях» приходять інші методи літаючих щупів. Це був перший метод автоматизованого тестування, він з'явився через потребу в гнучкому тестуванні не великих серій або прототипів електронних плат. Основна ідея літаючих щупів полягає в тому, що кілька рухомих зондів (щупів) на координатних приводах програмно переміщуються по поверхні плати і постійно контактують з тестовими точками. Це дозволяє перевіряти електричні параметри будь-яких ланцюгів і компонентів без потреби в спеціально фіксованих матрицях [5].

Завдяки потребі та швидкості тестування ДП розробляли різні види тестування, починаючи з ручного та дійшли до автоматизованого тестування, яке актуальне і в наш час. Наразі зараз намагаються знайти заміну дорогим

аналогам та розробити досить ефективні та прості рішення які можна буде швидко модифікувати під кожний тип плат [6].

1.3 Класифікація за методом тестування

Стенди можуть бути класифіковані за різними критеріями, зокрема за методом тестування:

1.3.1 Метод ложе цвях

Цей метод полягає в тому що, з'єднання з друкованою платою та подальше тестування здійснюються за допомогою спеціальної пластини з пружинними контактами (так звані «pogo pins»), які точно розташовані напроти контрольних точок вимірювання. Такі контрольні точки («тест-поінти») повинні бути передбачені ще на етапі проєктування плати. Метод «ложе цвяхів» легко інтегрується до складу автоматизованої тестової лінії. Водночас основним недоліком цього підходу є необхідність виготовлення окремих ложелементів з отворами для кожного типу плати. Тому, якщо метод підходить для масового виробництва однотипних плат, то при виготовленні малосерійних або індивідуальних пристроїв він стає не вигідним через витрати часу на створення нових адаптерів і додаткові фінансові затрати. [7]. Приклад стану з даним методом показано на рис.1.1.

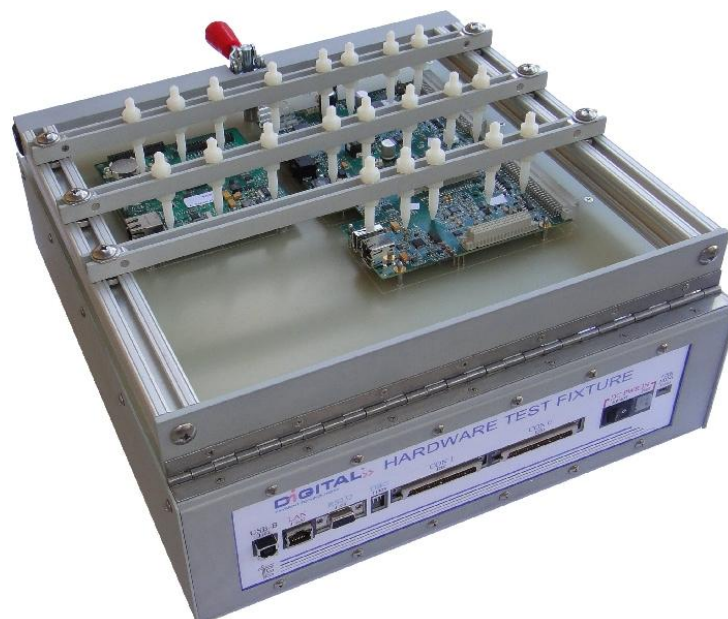


Рис. 1.1 Стенд з використанням «методу ложе цвях»

1.3.2 Метод літаючих щупів

Суть методу полягає у використанні тестувальної установки, оснащеної однією або кількома рухомими головками, на яких закріплені незалежні щупи з приводами по координатних осях. Така конструкція дозволяє проводити перевірку будь-якого провідника або компонента на друкованій платі. Найбільшою перевагою цього підходу є його універсальність — він підходить для тестування різних типів плат без необхідності зміни апаратної частини. Всі переміщення щупів, а також параметри тестування, визначаються у заздалегідь підготовленій програмі. [4]. Приклад даного методу зображено на рис.1.2.

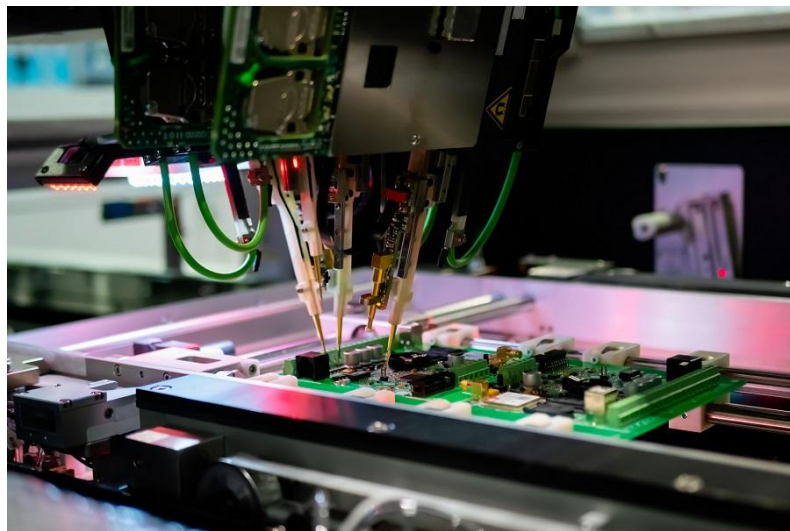


Рис 1.2 Метод літаючих щупів

1.3.3. Метод оптичного тестування

Оптичне тестування : автоматизований оптичний контроль (AOI — Automated Optical Inspection) – це технологія, яка використовується для автоматичного виявлення дефектів на ДП за допомогою оптичних систем та програмного забезпечення.

Принцип роботи AOI: система робить високоякісні фотографії плати з різних ракурсів, після чого спеціальне програмне забезпечення перевіряє отримані зображення з шаблоном створеним в САД-середовищі або еталонним зразком на рис.1.3 наглядно показує як проходить тестування [4].



Рис. 1.3 Метод оптичного тестування

1.3.4 Внутрішньо схемне тестування

Внутрішньо схемне In-Circuit Test (ICT) – це метод який використовується для оцінки цілісності та функціональності певних компонентів. ICT можна класифікувати як метод тестування «білої скриньки», це означає що він перевіряє не тільки внутрішню структуру збірки, а не лише функціональність [4].

Принцип роботи: ДП розміщується в ложелемент з пружинними голками, які дотикаються до певних точок на платі. Система автоматично виконує перевірку електричних властивостей у заданих точках.

Основні переваги даного тестування, це виявлення дефектів на ранній стадії розробки, стенд перевіряє кожен елемент окремо, завдяки чому забезпечує високий рівень знаходження поломок. Стенди з таким типом тестування є повністю автоматизованими, що робить їх придатними до роботи на великих підприємствах, де потрібно виконувати великий обсяг роботи.

З мінусів є вартість кріплень, для певних плат потрібно виготовляти різні ложелементи, які іноді можуть коштувати досить дорого.

1.3.5 Рентгенівська інспекція

Рентгенівська інспекція AXI (Automated X-ray Inspection) (Рис.1.4)– це автоматизована технологія контролю якості, яка використовує рентгенівське випромінювання для перевірки ДП та електронних компонентів. AXI дозволяє

виявити дефекти, які не можливо виявити оптично, наприклад під корпусами мікросхем, де з'єднання приховано всередині [4].



Рис.1.4 Стенд з АХІ

Принцип роботи: рентгенівська трубка розташовується над або під об'єктом, на протилежному боці розташовується детектор, який буде фіксувати рентгенівське зображення, що утворюється через різну поглинальну здатність матеріалів. Зображення виглядає чорно-білим (градієнт сірого), де можна побачити структуру з середини. Аналіз проводить спеціальне програмне забезпечення яке автоматично аналізує отриманні зображення, потім класифікує дефекти, наприклад: тріщини, порожнечі, надлишок або нестачу припою, відсутні або зайві компоненти.

1.3.6 "Матриці, що літають"

Метод відносно новий. При його розробці передбачалося вирішити основні проблеми існуючих систем тестування : складність переналадки (системи з адаптером) і низька продуктивність (системи з рухливими зондами). При цьому методі на кожній каретці розміщується матриця щупів, кожен щуп якої може незалежно переміщатися по осі Z. Кожна матриця складається із зондів, розташованих з певним кроком (2,5 мм). Як правило, тестові установки мають чотири матриці, по дві на кожную сторону, між якими розташовується тестована ДП. Завдяки цьому можливе проведення 100%-го контролю для будь-якого

варіанту розміщення контактних площадок, що тестуються (на верхній стороні, на нижній стороні, на різних сторонах ДП). Матриці переміщаються на короткі відстані по осях X і Y з високою швидкістю, при цьому найбільш близько розташований до точки тестування зонд активізується і виробляє подачу сигналу або вимірювання. Середня відстань переміщення дуже мала (близько 1 мм), що дає величезну перевагу в швидкості тестування. [8]

1.4 Класифікація за принципом роботи

Стенди тестування плат можна розділити на два типи: стенди з ручним тестуванням та автоматизовані

1.4.1 Стенди з ручним керуванням

Стенди з ручним керуванням є найпростішими та водночас найстарішими типом обладнання, що використовують для тестування ДП. Їх особливість полягає в тому що повна або часткова взаємодія з оператором який може виконувати такі дії: встановлювати плату на робочу поверхню, під'єднувати тестові контакти, контролювати подачу живлення на плату, самостійно зчитує результати вимірювання за допомогою зовнішніх приладів.

Зазвичай такі стенди не оснащуються автоматизованим приводом, усі переміщення та натискання виконуються вручну оператором. Візуальний приклад такого стенду зображено на рис. 1.5.



Рис. 1.5 – ZD-11E тримач плат для ручного тестування

Основні переваги ручних стендів варто відзначити просту конструкцію, низьку вартість, легке обслуговування та простоту модернізації під різні плати. Через відсутність складних модулів такі стенди використовують для навчання та в невеликих майстернях.

Ручні стенди також мають і декілька суттєвих недоліків, при великій кількості виробів вони не можуть забезпечити високу продуктивність, також без програмного забезпечення не можуть забезпечити постійних стабільних результатів у тестуванні.

Незважаючи на недоліки які написані вище, такі стенди продовжують бути актуальними завдяки своїй простоті у використанні та здатні швидко адаптуватися під різні складні завдання. Вони ідеально підходять для таких тестувань де точність не є критичною, а швидкість не важлива.

1.4.2 Стенди з напівавтоматизованим керуванням

Стенди з напівавтоматизованим керуванням займають проміжний етап між ручним та автоматизованим тестуванням ДП. Їхня особливість полягає в тому що окремі етапи процесу наприклад, притискання контактної плати або подача сигналів на плату, реєстрація або зчитування результатів виконується за допомогою електромеханічних або електронних компонентів – виконуються автоматично без втручання оператора, але установлення плати та запуск тестування відбувається за рахунок людини.

Такі стенди мають складнішу конструкцію порівняно з ручними стендами. До їх складу можуть входити приводи переміщення притискної плити, а також мікроконтролери або комп'ютерні системи, які автоматизують частину функцій. У більшості випадків застосовуються пружинні голки, які встановлюються під ложелементом куди кладуть плату яку маємо тестувати. При натисканні кнопки оператором, притискна плита прижимає ложелемент разом з платою до контактних голок які встановлюють контакт в певних місцях на платі, тоді і починається тестування.

Перевагою таких стендів є підвищена точність, зниження людських помилок та зменшення фізичного навантаження на оператора. Завдяки частковій

автоматизація вдається досягти кращої продуктивності та полегшити роботу для операторів.

У цілому, стенди з напівавтоматизованим керуванням є непоганим вирішенням між простотою ручного тестування та високою продуктивністю автоматизованих стендів. Вони широко застосовуються на середньосерійних виробництвах та дослідницько-наукових лабораторіях, де потрібна гнучкість і функціональність за відносно не дорогою вартістю таких стендів.

1.4.3 Стенди з автоматизованим керуванням

Стенди з автоматизованим тестуванням можуть забезпечувати повний цикл тестування без втручання оператора: від механічного контакту до зчитування та реєстрації результатів. Такі стенди базуються на вбудованих комп'ютерах або мікроконтролерах, мають електроприводи та програмовану логіку.

Оператор лише повинен вставити плату в ложелемент та зафіксувати її. Далі система сама виконує переміщення притискної плати, перевірку електричних параметрів та проводить тестування після чого записує дані в файл з результатами .

Серед конструктивних рішень таких стендів – серводвигуни, відрегульовані системи притиску, інтерфейси керування(наприклад сенсорні дисплеї). Така система може працювати з великим спектром плат і легко масштабуватися для серійного виробництва.

Автоматизовані стенди являються стандартним рішенням для великих підприємств. Через високу вартість і складність розробки, вони забезпечують високу точність, швидкість та менший вплив людського фактору, що виправдовує їх використання на серійному виробництві.

1.5 Огляд аналогічних рішень

У сучасному виробництві широко використовується тестування плат. Вони дозволяють перевіряти функціональність компонентів, наявність коротких замикань, аналізувати логіку роботи пристрою. Серед підприємств

використовуються як ручні так і автоматизовані стенди, кожний з яких орієнтований під різний тип виробництва.

1.5.1 SPEA 3030BT

Одна із популярних компаній SPEA, а саме модель 3030BT (Рис.1.6) – багатоканальна система функціонального тестування, яка дозволяє тестувати велику кількість ДП. Система підтримує швидку заміну тестових програм, автоматично перемикає інтерфейси, також передбачено кріплення для роботи з різним розміром плат [9].



Рис.1.6 SPEA 3030BT

Даний стенд складається з 19-дюймового екрану для керування стендом. Усередині розташований вбудований процесор, який забезпечує автономне тестування без зовнішнього комп'ютера, для зчитування інформації підключають до ПК через стандартний USB-порт.

Основним методом тестування є ICT– система послідовно перевіряє кожен компонент на відповідність номінальним параметрів, правильну установку та полярність, а також виявляє короткі замикання. Технологія Open Pin Scan дозволяє додатково визначати помилки розташування конденсаторів та наявність зайвих зв'язків. Для створення тестів використовують програмне забезпечення Leonardo, яка має інтуїтивний графічний інтерфейс, що особливо корисно для операторів без досвіду роботи.

SPEA 3030BT має доволі високу продуктивність завдяки можливості паралельного тестування кількох плат. При відносно невисокій вартості, він забезпечує точну діагностику, що підвищує якість продукції.

1.5.2 RoBAT S1

Система RoBAT S1 (Рис.1.7) є високотехнологічним рішенням для тестування ДП. Цей стенд налічує в собі АОІ та електричне тестування, що дає змогу проводити комплексне тестування без індивідуальних фіксаторів, що значно знижує вартість та час підготовки до тестування. Завдяки таким параметрам даний стенд є особливо ефективним при обробці невеликих партій [10].



Рис.1.7 RoBAT S1

Головною особливістю є АОІ, яка забезпечує точне виявлення дефектів, такі як порушення монтажу компонентів, механічні пошкодження, а також дефекти самих ДП. Візуальну перевірку доповнює електронне тестування, що дозволяє визначити коротке замикання, а також інші проблеми, які впливають на функціонал ДП. Цей стенд є повністю автоматизований всі операції з мінімальним втручанням оператора, що дає змогу зменшити людську похибку.

RoBAT S1 підтримує тестування плат різних розмірів, а модульне програмне забезпечення дозволяє налаштовувати під індивідуальну потреби. Це робить стенд універсальним інструментом на виробництві.

1.5.3 VoxProber

Один із найкращих прикладів застосування методу «ложе цвях» - це тестовий стенд VoxProber (рис.1.8) від компанії Test Electronics. Даний стенд використовує ICT для ДП, поєднує в собі простоту притискного механізму з високою точністю тестових голок [11].



Рис.1.8 Приклад VoxProber

Основний принцип роботи даного стенду полягає в одночасному підключення великої кількості контрольних точок плат за допомогою пружних голок, які вставлені в спеціальну плату. Коли ДП розміщується в ложелементі, оператор або автоматизований механізм опускає притискну плиту. При цьому контактні голки входять у контакт з контрольними точками, створюючи електричне з'єднання. Це дає можливість швидко перевірити плату на важливі параметри.

Особливістю такого стенда є його універсальність. Крім стандартного електричного тестування, також може бути оснащена додатковими модулями: камерами для зчитування індикації або сервомоторами для приводу притискної плити.

Конструктивно стенд виконано у вигляді захисного кожуха з прозорою верхньою кришкою. Всередині знаходиться контактна плата з пружними голками, які можна адаптувати під кожний вид плат. Такий підхід економить час на перехід між тестуванням серійних виробів.

РОЗДІЛ 2.

КОНСТРУЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ

2.1 Кінематичний аналіз стенду

Розглянемо структурну схему для розробки автоматизованого стенду. На рис.2.1 представлена структурна схема автоматизованого стенда, призначеного для тестування друкованих плат. Схема відображає основні функціональні вузли та їх взаємозв'язок.

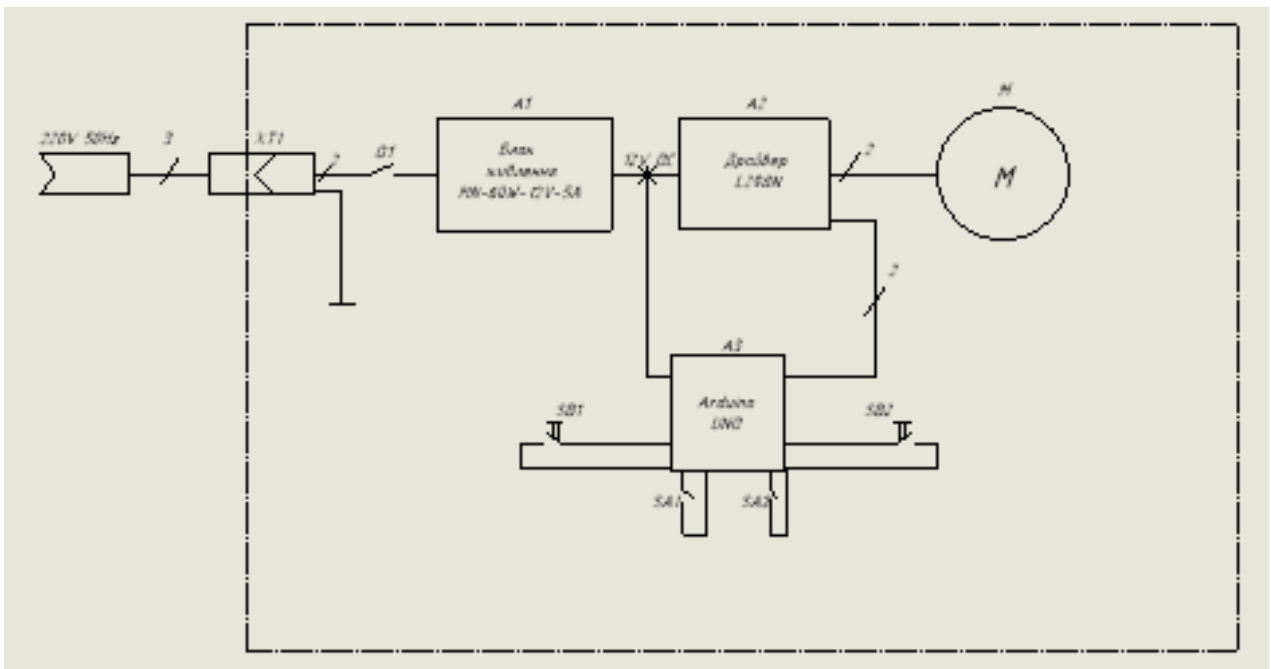


Рис.2.1 Структурна схема

Живлення системи здійснюється від стандартної однофазної електромережі 220 В 50 Гц. Вхідна напруга надходить на конектор (ХТ1). Після цього електроенергія подається на вимикач (Q1) та потрапляє на блок живлення NW-60W-12V-5A (A1), який перетворює змінну напругу на постійну 12 В з силою струму до 5 А — цього достатньо для живлення як логічних, так і виконавчих компонентів.

Керуючим елементом системи є контролер Arduino UNO (A2), що відповідає за обробку вхідних сигналів, прийняття логічних рішень та формування керуючих імпульсів. Arduino отримує інформацію від кінцевиків,

контактного стану кнопок, і на основі прошитої логіки активує виконавчі механізми.

Для керування електроприводом використовується драйвер L298N (A3) — двоканальний модуль, що забезпечує необхідну потужність для обертання двигуна, зміну напрямку його обертання та регулювання швидкості. Підключений до нього двигун постійного струму (М) виконує механічне переміщення — наприклад, підняття або опускання притискної плити.

Виконавча зона представлена умовними контактами SB1 та SB2, відповідають за початок руху мотора. SA1 та SA2 це кінцевики, які відповідають за крайні положення плити та зміну руху. Всі ці сигнали координуються Arduino через цифрові порти.

Для розроблення конструкції та розрахунку необхідним сил було побудовано кінематичну схему (рис.2.2).

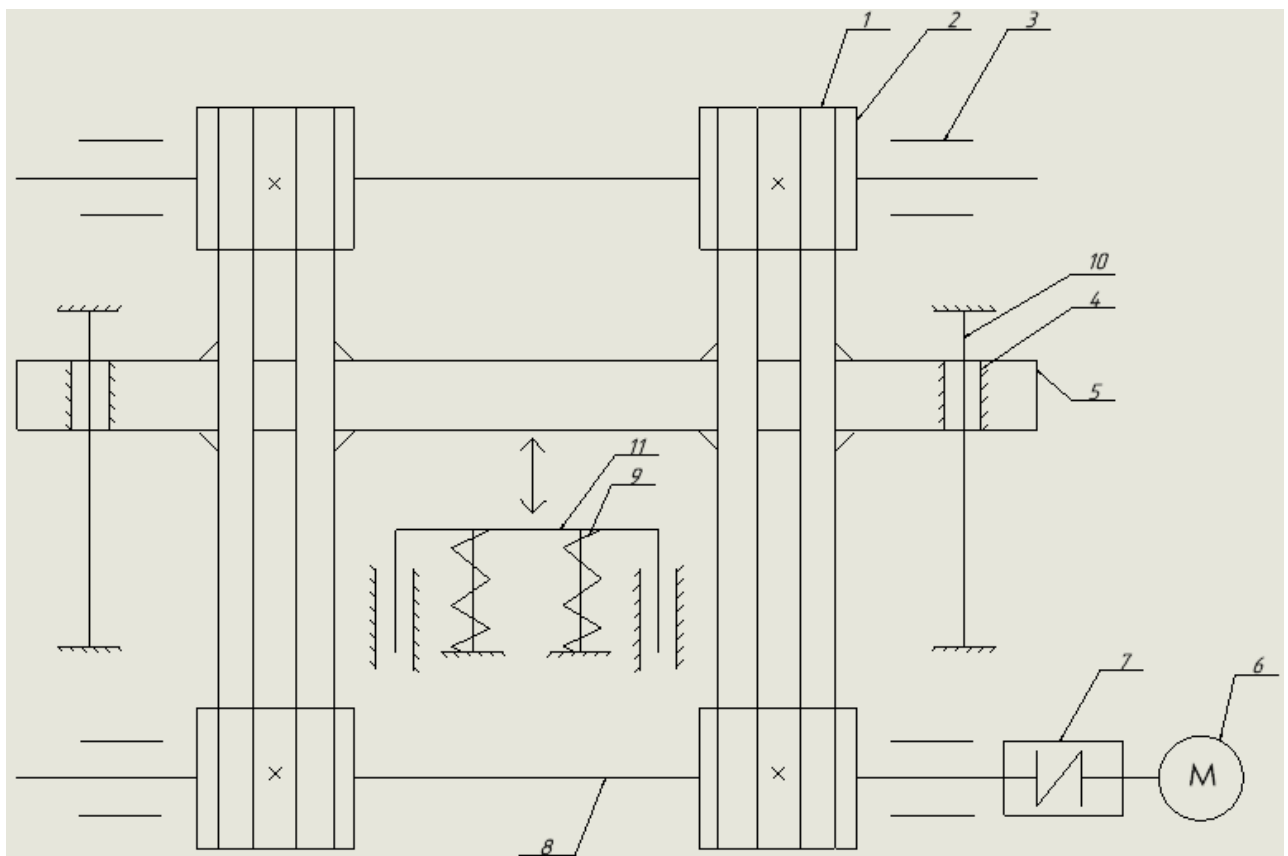


Рис.2.2 Кінематична схема стану

На рис.2.2 зображено кінематичну схему вертикального притискного механізму, що є основною частиною автоматизованого стенда для тестування друкованих плат. Привідна система забезпечує вертикальне опускання та підйом притискної плити для встановлення електричних контактів через контактні голки або зонди.

Основу приводу становить ремінна передача (поз. 1), яка зв'язує між собою шківів (поз. 2), розташовані на вертикальних напрямних. Ремені утворюють замкнене кільце, забезпечуючи синхронне переміщення лівої та правої частини механізму.

Передача крутного моменту від електродвигуна (мотор — поз. 6) до вала здійснюється через гнучку муфту (поз. 7). Це дозволяє компенсувати осьове та кутове зміщення між двигуном і ведучим валом (поз. 8), на якому розташовані шківів.

Притискна переміщається по вертикальних направляючих (поз. 10) за допомогою лінійних підшипників (поз. 4). Вони забезпечують плавне вертикальне переміщення без перекосів та заїдань. У вузлах обертання використано підшипники кочення (поз. 3), що мінімізують втрати на тертя.

Центральним елементом притискного вузла є притискна плита (поз. 5), яка опускається на ложеlement з платою для забезпечення контакту з тестовими точками. Її опускання регулюється за допомогою пружин (поз. 9), які запобігають надмірному зусиллю і механічному пошкодженню плати.

Плата встановлюється на ложеlement (поз. 11). Він фіксує друковану плату під час притискання та забезпечує правильне її розташування відносно контактів.

Уся конструкція побудована з використанням стандартних елементів, що забезпечує простоту складання, обслуговування та можливість швидкої заміни окремих вузлів.

Згідно кінематичної схеми проведемо обрахунки, щоб знайти необхідну силу притискання та необхідний крутний момент на валу для забезпечення притискання плати.

В розробленому прототипі притискна плита, маса якої 0.4кг, тож розрахуємо її вага може бути розрахована за відомою формулою:

$$P = m \cdot g = 0.4 \cdot 9.81 = 3.92 \text{ Н}$$

Розрахуємо максимальну силу яку повинна видавати ремінна передача.

Для цього проведемо аналіз сил, що діють на плату (рис.2.3).

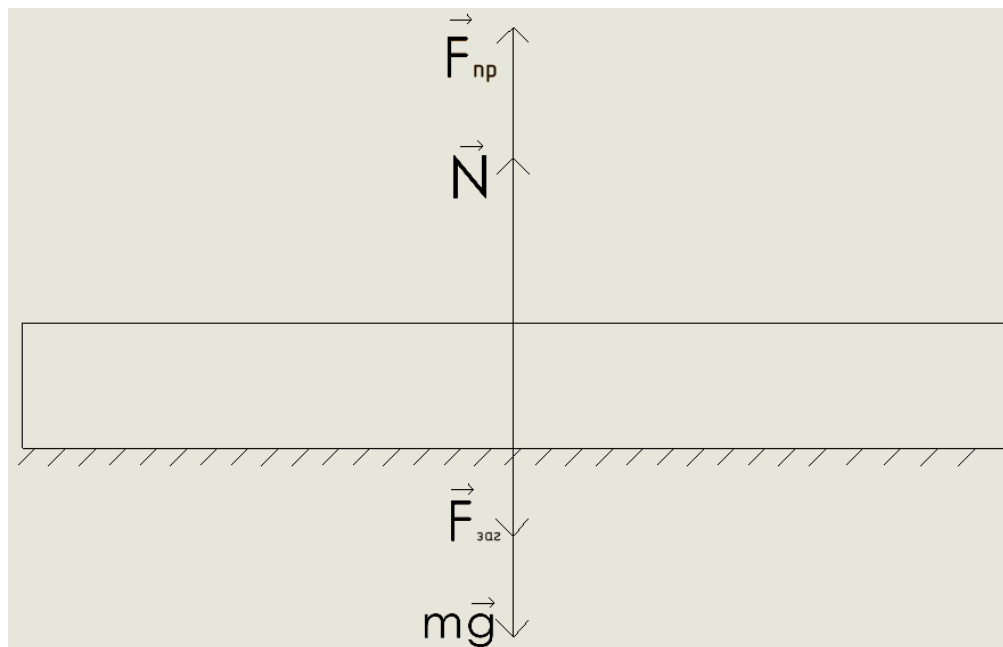


Рис.2.3 Сили, що діють на ложеlement

Максимальна допустима сила притискання на плату 20 н. Якщо перевищити силу притискання, плата буде деформуватися та може зламатися. Відповідно до другого закону Ньютона, загальна сила, що діє на плату буде:

$$\mathbf{F}_{заг} = \mathbf{F}_{прит} + m \cdot \mathbf{g} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{пруж} = 20 + 36 = 56 \text{ н} \quad (2.2)$$

Знаючи силу притискання можемо врахувати сила яка повинна бути на приводі з урахуванням ваги притискної плити:

$$F_{прив} = F_{заг} - P = 56 - 3,92 = 52,08 \text{ н} \quad (2.3)$$

В даному прототипі буде використовуватися пара шківів НТD3М-АF-В17- Z16-D8, їхній діаметр 14.5 мм, з урахуванням цих даних знайдемо необхідний нам момент на валу

$$M = F_{прив} \cdot r = 52.08 \cdot 0.00669 \approx 0.3485 \text{ н} \cdot \text{м} \quad (2.4)$$

2.2 Апаратне забезпечення

2.2.1 Мікроконтролери

Arduino — це платформа для створення електронних пристроїв, що поєднує апаратну і програмну частини та відзначається простотою використання й легкістю освоєння. Основу системи складають мікроконтролери та середовище розробки програмного забезпечення, за допомогою якого можна писати та завантажувати код у мікроконтролер [12].

Через Arduino можна підключати різноманітні датчики для взаємодії з фізичним світом. Основним процесом роботи з цією платформою є написання коду в середовищі Arduino IDE на комп'ютері, подальше завантаження програми в плату через USB-кабель, після чого пристрій виконує задані інструкції, реагуючи на сигнали з датчиків.

Arduino широко застосовується як у навчальних, так і в професійних цілях. У професійній сфері вона переважно використовується для створення прототипів електронних пристроїв і систем. Крім того, платформа популярна серед ентузіастів, які створюють проєкти вдома або у сфері мистецтва — де пристрої реагують на навколишнє середовище.

Arduino вважається потужним інструментом для розробників, оскільки дозволяє створювати складні пристрої, що взаємодіють з реальним світом, і реалізовувати найрізноманітніші проєкти.

Платформа складається з апаратної та програмної складових. До апаратної частини належать такі плати, як Arduino Uno, Mega, Nano, Leonardo та інші — кожна з них має свої характеристики та кількість входів/виходів. Для розширення функціоналу використовуються додаткові модулі — шилди (наприклад, Wi-Fi, Ethernet, реле, керування двигунами тощо), які підключаються до основних плат.

Arduino має власне середовище розробки — Arduino IDE, в якому можна писати, компілювати та завантажувати код у плату. Програмування здійснюється на базі мов C/C++, і доступна велика кількість бібліотек, що значно полегшують роботу з різними датчиками та модулями [13].

Arduino Uno

Arduino Uno (рис. 2.) — це одна з найпопулярніших плат у сімействі Arduino, яка ідеально підходить для новачків. Вона вирізняється простотою у використанні та має достатню кількість входів/виходів для реалізації більшості базових проєктів. Через доступності та широкій підтримці з боку користувацької спільноти, Uno часто використовується в навчальних цілях та для ознайомлення з основами електроніки та програмування [14].



Рис.2.4 Arduino Uno

Ця версія має стандартну форму, що забезпечує сумісність з великою кількістю шилдів, які розширюють функціональні можливості платформи, а також дозволяє легко підключати різноманітні датчики та інші компоненти. Плата побудована на основі мікроконтролера ATmega328P.

Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 (рис.2.5) — це потужна й універсальна платформа, що ідеально підходить для реалізації складних електронних проєктів [15]. Плата оснащена мікроконтролером ATmega2560, який забезпечує високу обчислювальну продуктивність та великий обсяг пам'яті для збереження програмного коду та даних. Завдяки збільшеній кількості входів і виходів порівняно з базовими моделями, вона є оптимальним вибором для проєктів, що потребують підключення численних сенсорів, дисплеїв, двигунів та інших елементів [13].

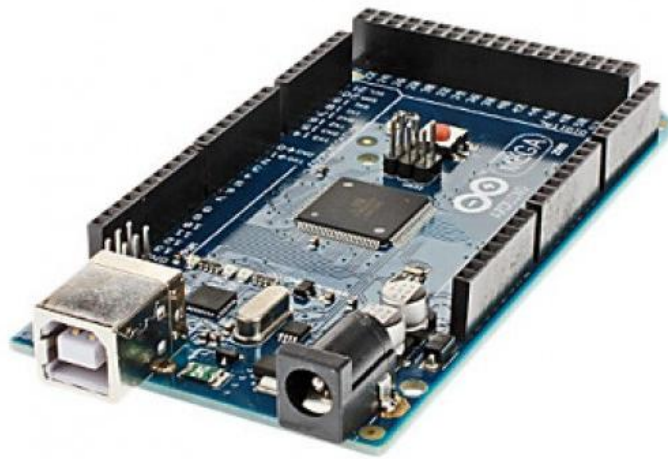


Рис.2.5 Arduino Mega 2560

Плата має значно більший розмір серед інших плат Arduino. Має велику кількість шилдів. Через велику потужність споживає значно більше потужності ніж інші моделі.

Arduino Due

Arduino Due (рис 2.6) – це високопродуктивна плата, яка застосовується для створення складних та високошвидкісних електронних систем [16]. В її основі лежить мікроконтролер Atmel Sam2X8E з ядром ARM Cortex-M3, що працює на частоті 84МГц. Плата оснащена великою кількістю аналогових і цифрових портів на вхід/вихід, що дає змогу підключати велику кількість сенсорів, датчиків та інших пристроїв.

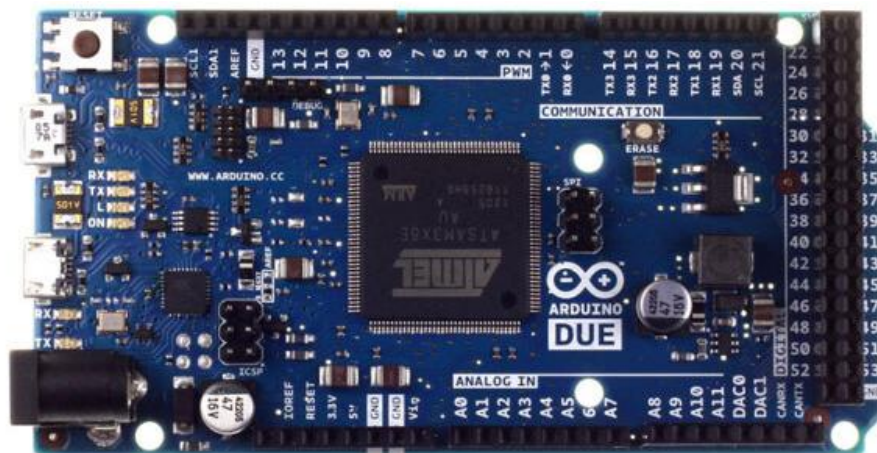


Рис. 2.6 Arduino Due

Серед основних переваг Arduino Due слід зазначити високу швидкодію, універсальність і великі можливості розширення завдяки підключенню модулів

і шилдів. За габаритами схожа на Arduino Mega 2560, проте споживає більшу потужність.

Arduino Pro Mini

Arduino Pro Mini (рис 2.7) випускається у двох варіантах – на базі мікроконтролерів ATmega168 або ATmega328. Ця модель орієнтована на досвідчених користувачів, які шукають компактну, енергоефективну та доступну за ціною плату[17].

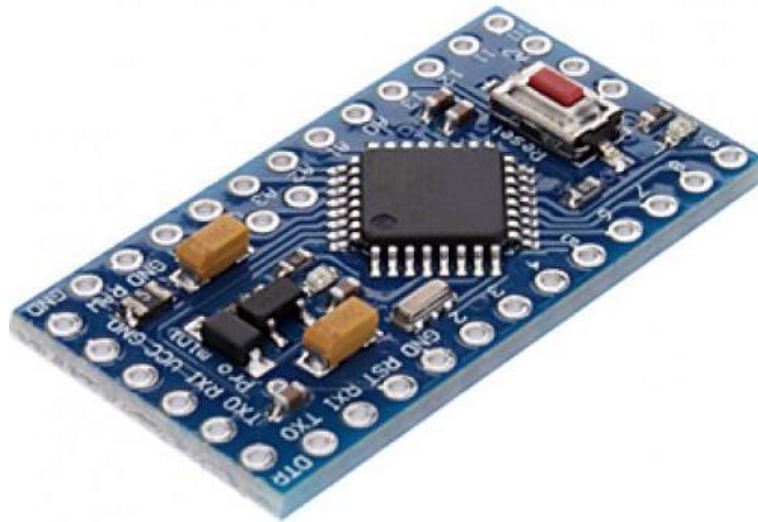


Рис.2.7 Arduino Pro Mini

Плата має досить малі розміри, що робить її оптимальним рішенням для проєктів в яких важливий невеликий розмір і економне споживання. Дана плата може житися від акумуляторів так і від інших джерел живлення з напругою від 3.3V до 12V. Через відсутність вбудованих портів таких як USB-порт та спеціального конвертера, використовують спеціальні адаптери або Arduino Uno в режимі програматора. Незважаючи на невелику кількість портів плата залишається сумісною з великою кількістю модулів.

Arduino Nano

Arduino Nano (рис. 2.8) це зменшена версія плати Arduino Uno, яка при меншому розмірі забезпечує розширенні можливості та вищу продуктивність у порівнянні з іншими компактними платами. Ця плата спеціально розроблена під проєкти де потрібні малі габарити, при чому не поступаючи Arduino Uno [18].



Рис.2.8 Arduino Nano

Arduino Nano має вбудований USB-порт, що значно полегшує її програмування та передачу даних. Також вона підтримує великий спектр датчиків, що дозволяє розширити її функціонал залежно від заданих задач.

Arduino Leonardo

Arduino Leonardo (рис. 2.9) це мікроконтролерна плата, побудована на базі контролера ATmega32u4, яка відрізняється від інших плат Arduino тим, що має вбудовану підтримку USB-з'єднань без потреби в окремому USB-to-serial перетворювача [19].



Рис.2.9 Arduino Leonardo

Одна із основних переваг є здатність симулювати HID-пристрої, що дозволяє створювати проекти, які будуть взаємодіяти з комп'ютером. Плата має стандартний набір цифрових та аналогових входів/виходів. Також вона

оснащенна USB-портом що полегшує завантаження скетчів та передачі даних. Вона ідеально підходить для проєктів де потрібно, у яких потрібно виконувати взаємодію з комп'ютером або іншими USB-пристроями.

Обираючи плату для проєкту слід надавати перевагу таким параметрам як достатня кількість пінів для підключення всіх компонентів та наявність достатньої кількості флеш пам'яті. Плати Mega 2560 та Due занадто великі та мають занадто велику потужність, яка в даному проєкті не потрібна. У плати Pro Mini занадто мала та має не достатню кількість портів що не дасть нам підключити всі необхідні компоненти. Плата Nano є гарним варіантом але при вдосконаленні стенду можливо знадобиться більша кількість портів. Найкращим варіантом являється Uno яка має: достатню кількість флеш пам'яті, кількість входів/виходів і інше.

Сумісність Arduino Uno з екосистемою Arduino забезпечує зручність розробки та швидку інтеграцію в різноманітні проєкти. Завдяки широкому вибору бібліотек, прикладів коду та детальній документації, розробникам набагато легше починати роботу з цією платформою[13].

Arduino Uno програмується за допомогою середовища розробки Arduino IDE, яке надає користувачеві інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для написання, компіляції та завантаження програм. Розробка програм для Uno ведеться на мові програмування Wiring, яка ґрунтується на мові C/C++. Arduino IDE дозволяє створювати скетчі з використанням стандартних функцій і бібліотек для роботи з цифровими та аналоговими портами, модулями зв'язку, дисплеями та іншими компонентами[13].

Після написання скетчу його можна скомпілювати для перевірки на наявність помилок. Потім програма завантажується на плату Arduino Uno через вбудований USB-порт, і пристрій починає виконувати задані дії. IDE також містить велику кількість прикладів, які допомагають як новачкам, так і досвідченим користувачам швидко опанувати розробку.

Arduino Uno є чудовим вибором для даного проєкту завдяки своїй надійності, простоті у використанні та повній сумісності з більшістю шилдів і модулів. Незважаючи на дещо більші розміри в порівнянні з Nano, Uno

забезпечує достатню кількість цифрових і аналогових входів/виходів, стабільну роботу, а також має широкі можливості для розширення функціональності. Це робить його потужним інструментом для реалізації інженерних завдань, які вимагають простоти, надійності та гнучкості.

2.2.2 Керування ремінною передачею

Для даного стенду було здійснено ретельні обрахунки та аналіз механізму притискання плати з метою вибору максимально підходящого двигуна для потреб проєкту. Також під час аналізу було враховано певні фактори, такі як потужність, енергоефективність, кріплення, габаритні розміри та керованість.

JGY-370 150rpm

Двигуни постійного струму з редуктором JGY-370 (рис.2.10) є класичним прикладом щіткових електродвигунів постійного струму, які оснащені вбудованим редуктором. Їх часто використовують у проєктах де потрібна висока потужність при відносно невеликих обертах. Зазвичай мотори серії JGY-370 мають напругу живлення 12В та крутний момент 10кг*см, а також має черв'ячний редуктором з передаточним числом від 150:1[20].



Рис.2.10 Мотор JGY-370

Корпус двигуна має циліндричну форму діаметром 37мм, довжиною 70мм із редуктором маса приблизно 150г. Основна перевага таких моторів є простота підключення, вони можуть працювати від постійного джерела струму так і від драйвера таких як L298N. Завдяки наявності редуктора збільшується крутний

момент, що робить даний мотор придатним для проєктів, де важлива сила, а не швидкість. Також у даного мотора є і недоліки, до них можна віднести наявність щіток, які з часом зношуються, що може скорочувати придатність двигуна. Також він може бути шумним через свій редуктор. Через свою дешевизну, компактність та простоту використання ці двигуни залишаються популярними у конструкціях в яких невеликий бюджет.

Крокові двигуни NEMA 17 або NEMA 23

Крокові двигуни NEMA 17 або NEMA 23 (рис.2.11) це електромеханічні пристрої, що перетворюють електричні пристрої у дискретні кутові переміщення. Типові робочі напруги таких двигунів становлять 12-24 В, кроковий кут $1,8^\circ$ (це приблизно 200 кроків за оберт), а крутний момент становить від 3 до 20 кг*см залежить від моделі. [21].



Рис.2.11 Крокові двигуни NEMA 17 або NEMA 23

Завдяки своїй конструкції крокові двигуни забезпечують точне позиціонування без використання зворотного зв'язку, що дозволяє використовувати їх у 3D-принтерах, медичних приладах та інших високоточних системах. Їхньою великою перевагою є абсолютна контрольованість переміщення, яка забезпечується послідовністю активації обмоток. Також вони потребують спеціального драйвера, який буде подавати правильні імпульси у відповідній послідовності. Крім переваг можна зазначити ще й такі недоліки: під час роботи мотор може сильно нагріватися та втрачати крутний момент на високих обертах. Також при

неправильному налаштуванні та експлуатації, може призвести до похибок у позиціонуванні.

JGA25-370 12V 100 rpm

Двигун з планетарним редуктором JGA25-370 12V 100 rpm (рис.2.12) є щітковим двигуном постійного струму, який оснащений високоякісним планетарним редуктором, що забезпечує збільшений крутний момент та точну передачу обертального руху [22].



Рис.2.12 JGA25-370 12V 100 rpm з планетарною передачею

Даний двигун працює від напруги 12В, при якій його швидкість обертання на виході досягає 100 об/хв. Планетарна передача в такому двигуні має передаточне число 100:1, завдяки чому може забезпечити високий крутний момент до 1.5 кг*см при доволі не великих розмірах. Діаметр корпусу складає 25 мм, а довжина приблизно 65 мм. Вага двигуна приблизно 150 грамів, це дозволяє встановлювати такий двигун у не великі механізми з обмеженим простором.

Основною перевагою даного мотора є використання планетарного редуктора, який забезпечує рівномірний розподіл навантаження на зубчасті елементи, високу точність позиціонування, низький рівень шуму та вібрацій при великій інтенсивності експлуатації. Також завдяки концентричному розміщенню вихідного валу з редуктором, що забезпечує стабільну роботу осьового навантаження та зменшення люфту, що є важливим для задач з автоматизованим керуванням руху.

Двигун JGA25-370 широко застосовується у механізмах, де потрібна плавність ходу і точність: механізмах захоплення, приводах для лінійного переміщення та системах управління. Висока енергоефективність і здатність тривалий час працювати під навантаженням роблять його оптимальним вибором для проектів із обмеженим енергоспоживанням.

Для розрахунків які наведенні, можна зробити вибір мотора. Враховуючи вартість, потужність, необхідний крутний момент та надійність. Для даного стенду можна використати двигун JGY-370 на 150об/хв, завдяки свої черв'ячній передачі зможе забезпечити плавне опускання притискної плити та необхідну силу притискання та крутний момент. В Додатку В показано структурну схему підключення всіх компонентів

2.3 Вибір матеріалу

2.3.1 Метал

Мета є одним із найнадійніших та найміцніших матеріалів, який часто використовують для створення різних конструкцій. Метал має досить багато переваг та недоліків.

Одна з головних переваг є його жорсткість і міцність. Металеві елементи здатні витримувати значні механічні навантаження, удари та деформації. Це особливо актуально для стендів, які експлуатуються в умовах підвищеного механічного впливу. Використання металу гарантує надійність конструкції та дозволяє використовувати її протягом тривалого часу без істотних пошкоджень [13].

Також можна зазначити що метал має високу довговічність. Він стійкий до зношування та можна використовувати багато років без значних змін властивостей. Металеві конструкції значно менше підлягають впливу зовнішніх факторів, таких як волога та температурні коливання. Це робить метал гарним варіантом для використання в різних середовищах.

Ще одна властивість металу є його вогнестійкість. Метал не горить і не підтримує горіння, що робить його чудовим матеріалом для використання у умовах де потрібна велика стійкість горіння.

Метал досить легкий та простий в обробці. Його можна легко різати, свердлити, згинати та зварювати, що дозволяє створювати складні конструкції з високою точністю та геометрією [13]. Деталі з металу можуть бути виготовлені з мінімальними допусками, що може зменшити вартість та час виготовлення деталей для стенду. Наразі сучасні методи обробки такі як лазерне різання або обробка на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК), дозволяють досягати високої точності і швидкого виготовлення.

Також метал має естетичний вигляд це може бути великою перевагою у розробці стенду. Металеві конструкції можуть бути відполірованими до блиску або пофарбовані для створення привабливого зовнішнього виду, це робить їх привабливими і сучасними. Також металеві конструкції покривають спеціальним захисним покриттям, що підвищує їх стійкість до корозії та зносу [13].

Метал також має і недоліки. Основною проблемою є його висока вага. Металеві конструкції набагато важчі за конструкції з інших матеріалів, таких як пластик та фанера. Висока вага може ускладнювати транспортування і монтаж конструкцій.

Корозія є ще одним значним недоліком металу. Багато видів, схильні до корозії під впливом вологи і агресивних хімічних сполук. Для того щоб запобігти корозії метал покривають спеціальною речовиною, такою як фарба або антикорозійні засоби, для того щоб уникнути корозії використовують нержавіючу сталь або алюміній. Це збільшує вартість і складність обробку металевих конструкцій [13].

Метал також складний в обробці, особливо якщо потрібна висока точність і складна геометрія конструкції. Обробка металу вимагає спеціального обладнання і необхідних навичок, що може збільшити час та витрати. Також, металеві конструкції можуть потребувати додаткової обробки, такої як зварювання або механічна обробка [13].

Металева конструкція є надміцною і довговічною з високою стійкістю до механічних навантажень і зовнішніх впливів. Його вогнестійкість, гнучкість в

обробці і естетичний вигляд робить його найкращим варіантом для конструювання корпусу для нашого стенду.

2.3.2 Фанера

Фанера один із найпопулярнішим матеріалів для виготовлення карасів для різних конструкцій. Однак у неї є декілька переваг та недоліків.

Фанера складається з кількох шарів деревини, які склеюються між собою під різними кутами, що дає їй високу міцність і жорсткість. Завдяки такій структурі вона витримує значні навантаження та майже не деформується. Така властивість є особливо важливою для побудови каркасу, який буде піддаватися постійному навантаженню. Фанера має оптимальне співвідношення між міцністю та вагою конструкції [13].

Одна із важливих переваг є легкість обробки. Фанеру легко різати, свердлити, склеювати та шліфувати, що дозволяє виготовляти деталі з високою точністю. Це є важливим аспектом у виготовленні каркасу для стенду, оскільки виготовлення компонентів впливає на функціональність і стабільність. Для обробки деревини підходять стандартні інструменти для роботи з фанерою, що може значно спростити процес виготовлення і знизити витрати на спеціальне обладнання [13].

Також ще однією перевагою є естетичний вигляд. Вона має природній дерев'яний вигляд, який можна покращувати за допомогою лакування або фарбування. Це дозволяє створити не тільки функціональну конструкцію, а і естетично привабливу. Дерев'яна структура фанери додає виробу природній вигляд, який може бути важливим для декоративних або естетичних виробів.

Фанера економічно вигідний матеріал. Вона значно дешевша за багато видів пластику та акрилу, що може знизити загальні витрати на виготовлення конструкцій. Вартість фанери від типу і якості, але загалом вартість залишається значно меншою що дозволяє використовувати її для різних проектів.

Але фанера має і недоліки. Одним із них є чутливість до вологи. Фанера може розбухати, деформуватися або розшаруватися під впливом води або підвищеної вологості. Для того щоб запобігати цьому потрібно використовувати

вологостійку фанеру або обробляти спеціальними засобами. Це може збільшити вартість та складність виготовлення [13].

Фанера може мати незначні відхилення в товщині та якості поверхні, що може позначитися на точності виготовлення деталей. Тому при проектуванні та збиранні каркасу слід враховувати можливі нерівності, які можуть вплинути на його міцність та функціональність. Для того щоб досягти оптимального результату важливо використовувати фанеру високої якості.

Фанера поступається за довговічністю деяким іншим матеріалам, зокрема металам або високоякісному пластику. Вона може піддаватися впливу шкідників наприклад, термітів, а також може поступово руйнуватися під дією механічних навантажень і зовнішніх чинників. Щоб продовжити термін служби виробу, слід передбачити додаткові заходи для захисту фанери [13].

Незважаючи на ці недоліки фанера залишається популярним матеріалом для виготовлення саморобних стендів для власного використання в домашніх умовах. Однак вразливість до вологи, нестабільна якість, горючість і обмежена довговічність вимагає додаткової обробки та захисту.

2.3.3 Пластик

Пластик один із найпопулярніших матеріалів для різних конструкцій і виробів через свою універсальну властивість. Виготовлення каркасу з пластику має свої переваги та недоліки.

Пластик являється дуже легким матеріалом, що є значною перевагою. Завдяки цьому можна знизити навантаження на певні ділянки стенду та знизити вагу, що дасть змогу простіше транспортувати.

Великою перевагою пластику є його стійкість до вологи. Завдяки тому що пластик не вбирає воду, це робить його ідеальним у використанні в умовах високої вологості або відкритому повітрі. Також ця властивість сприяє довговічності виробу, оскільки він не піддається корозії і не розшаровується на відміну від інших матеріалів [13].

Однією з важливих переваг пластику є його хімічна стійкість. Багато видів цього матеріалу мають гарну стійкість до впливу агресивних хімічних речовин, що дозволяє використовувати пластик у середовищах, де інші матеріали

знають пошкоджень. Завдяки цій властивості він широко застосовується в лабораторіях і промислових умовах.

Ще одна перевага пластику — його гнучкість у формуванні. Матеріал можна відливати у складні форми з високою точністю, що дає змогу виготовляти деталі нестандартної конфігурації. Це особливо корисно при створенні унікальних елементів каркасу. Сучасні технології, зокрема 3D-друк, забезпечують швидке і точне виробництво таких деталей [13].

Пластик має і суттєві недоліки. Одним із них є відносно низька міцність в порівнянні з іншими матеріалами, такими як метал або фанера. Він може легко подрпатися або під час великих механічних навантажень зламатися. Це потрібно враховувати під час створення каркасу, який буде піддаватися механічним навантаженням. Через високі навантаження, які можуть призвести до деформації або поломки пластикових компонентів, це може вплинути на функціональність пристрою.

Обробка пластику може бути складнішою і вимагати спеціального обладнання. Наприклад, різання та свердління пластику повинно виконуватися з особливою обережністю, щоб уникнути тріскання, деформації та перегріву матеріалу. Також потрібно бути обережним при нагріванні пластику, тому що деякі види пластику можуть містити шкідливі речовини які виділяються при нагріванні [13].

Також недоліком можна вважати естетичний вигляд пластику. Пластик часто виглядає менш природньо і більш “дешево” порівняно з такими матеріалами як фанера та метал. Це може бути важливим фактором в розробці корпусу в якій зовнішній вигляд має значення. Хоч зовнішній вигляд пластика можна удосконалити за допомогою фарбування або покриття іншими матеріалами, але це буде більш затратно та трудомістким процесом.

Пластик є універсальним матеріалом який має багато переваг, такі як легкість, стійкість до вологи та хімічних речовин, гнучкість у формуванні та використання сучасних методів виробництва. Проте його недоліки, наприклад такі як, відносно низька міцність, складність обробки та естетичний вид, можуть обмежувати використання його у створенні каркасів.

2.3.4 Акрил

Акрил, також відомий як акрилове скло, є популярним матеріалом для різної конструкції завдяки своїм унікальним властивостям.

Одна із найбільших переваг є його прозорість. Він має оптичні властивості, наближені до скла, але при цьому він легший та міцніший. Завдяки прозорості акрилу можна створювати естетичні конструкції, де буде видно внутрішні компоненти, що може бути цікавим для демонстрації освітніх проектів. Також акрил можна пофарбувати у різні кольори або мати різні покриття для естетичного ефекту.

Акрил також відомий своєю стійкістю до вологи та хімічних речовин. Він не вбирає воду, не підлягає корозії, а також стійкий до багатьох хімічних речовин, що робить його ідеальним його у будь яких умовах. Це забезпечує тривалий термін служби виробів виконаних з акрилу навіть у несприятливих умовах.

Одною з переваг акрилу є його міцність. Він в 17 разів міцніший за скло, що робить його стійким до механічних пошкоджень і ударів. Ця особливість дає особливу перевагу у розробці конструкцій, які будуть піддаватися механічним навантаженням. Завдяки його стійкості до ударів, ризик пошкодження знижується, що дає змогу до постійної експлуатації [13].

Однак акрил має і недоліки. Одна із головних проблем використання акрилу є його крихкість в порівнянні з іншими матеріалами, наприклад фанера або деякі види пластику. При сильних ударах акрил з часом може тріскатися і ламатися. Також з часом він може дряпатися, це може погіршити зовнішній естетичний вигляд. Для того щоб запобігти цьому, використовують спеціальні покриття, але це збільшує витрати.

Обробка акрилу складніша, ніж обробка дерева або пластику. Різання, свердління і формування акрилу вимагають спеціальних інструментів та обладнання, щоб уникати тріщин та подряпин. Наприклад, різання акрилу повинно проводитися з використанням високошвидкісних пильних полотен з дрібними зубами, а свердління повинно здійснюватися при низькій швидкості з охолодженням, щоб запобігти перегріву і розтріскуванню матеріалу [13].

Також можна зазначити що акрил є відносно дорогим матеріалом в порівнянні з фанерою або пластиком. Це може значно вплинути на вартість проекту, особливо якщо потрібні великі обсяги матеріалів.

Акрил має низку переваг, таких як висока прозорість, міцність до ударів, стійкість до вологи і хімічних речовин, а також естетичний вигляд. Але через те що він крихкий, схильний до подряпин, складність обробки та відносно висока вартість можуть бути значними недоліками, які слід враховувати при виборі матеріалу для каркасу.

Розглянувши декілька варіантів матеріалів можна вибрати варіант який нам найбільше підходить. Основну увагу при виборі матеріалу звертали на ціну, міцність та гнучкість формування конструкції.

Акрил, незважаючи на його естетичний вигляд та міцність, має схильність до подряпин та руйнування. Також акрил буде дорожчим чим пластик, і вимагати більше зусиль та навиків в обробці, що зробить проект більш дорогим ці фактори сильно впливаю на використання акрилу у даному проекті.

Фанера також нам не підходить хоча і має високий запас міцності, вона легка в обробці та економічно вигідна, але з неї нам буде важче модифікувати деталі під різні типи плат. Також є мінусом те що фанера схильна до накопичення вологи в умовах високої вологості, що може стати проблемою під час тестування так як контактні голки будуть подавати певну напруженість на плату, а фанеру волога фанера буде заважати проводити тестування.

Отже, для виготовлення стенду будемо використовувати метал для каркасу, а саме алюмінієвий профіль, який дасть нам змогу легко з'єднувати всі компоненти між собою. Пластик буде використано для обшивки та самого притискного механізму. Алюміній нам ідеально підходить завдяки його міцності та стійкості до вологи, що може дозволити нам використовувати цей стенд в середовищі з підвищеним рівнем вологості. Пластик нам підходить завдяки своїй гнучкості формування, через те що з пластика простіше отримати деталь таку яка нам потрібна в стенді для модифікації під різні типи плат, це робить найкращим варіантом для реалізації його в стенді.

2.4 Розробка тривимірної моделі автоматизованого стенду

На основі попереднього вибору матеріалів та розробленої кінематичної схеми (Додаток Б) було змодельовану модель корпусу відповідно до характеристик та специфіки обраних матеріалів.

Модель корпусу складається з двох частин: верхня частина каркасу та нижня частина каркасу. Креслення та їх 3D модель були створені в програмному середовищі SolidWorks. Креслення більшості компонентів представлені в трьох видах, деякі в одному-двох видах, всі розміри які розміщені на кресленні поданні в міліметрах. Збірка моделі представлена в трьох видах. В даній конструкції застосовуються всі стандарти компоненти, які можна досить легко знайти.

При розробці 3D моделі притискної яка кріпиться на ремінь та направляючі, було враховано щоб наша плита під навантаженням не викручувала ремінь. Дану проблему було вирішено за допомогою використання ребер жорсткості які збільшують стійкість плити до навантажень.

На рис.2.13, рис2.14 зображено притискну плиту висота якої 60 мм. На моделі можна побачити кріплення пластикових зубів для притискання плати в певних точках, отвір для лінійного підшипника, який буде «ходити» по направляючій.

За даними тривимірними моделями було розроблено креслення, що наведені в Додатку Г.

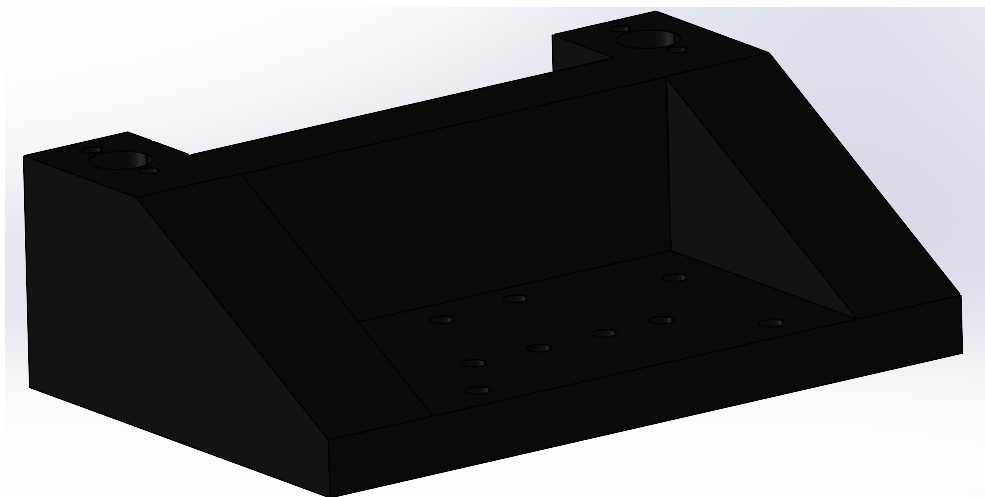


Рис.2.13 Ізометричний вигляд притискної плити

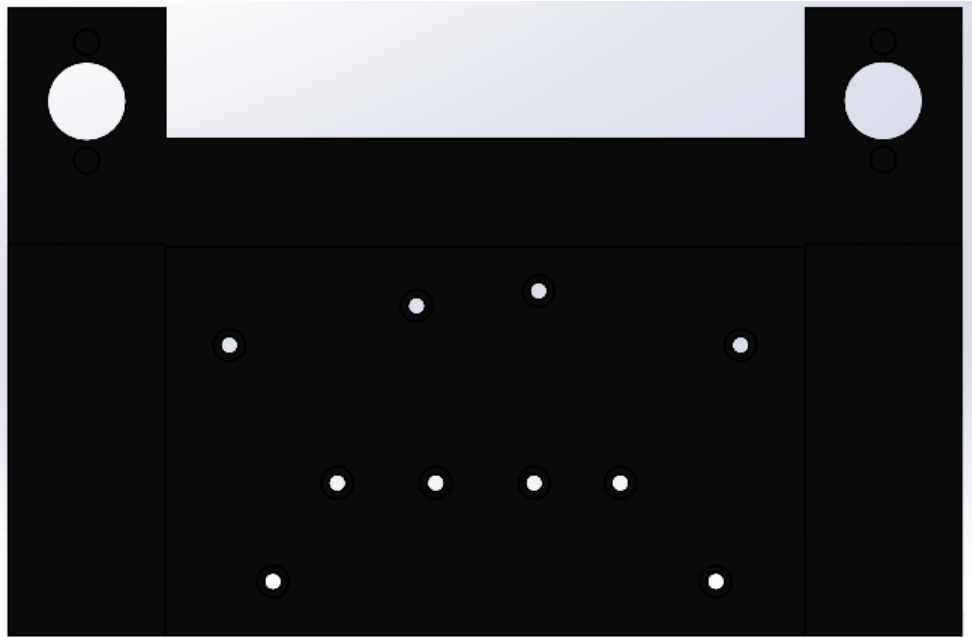


Рис.2.14 Вид зверху на притискну плиту

Також одним із головних компонентів тестування є ложелемент (рис.2.15, рис.2.16), він встановлюється на направляючі які дають змогу виконувати рух без перешкод, також ця деталь підпружинює, що дає їй змогу повертатися в початкове положення після тестування. Також у даній конструкції передбачено затискання кнопки яка встановлена на даному типі плати.

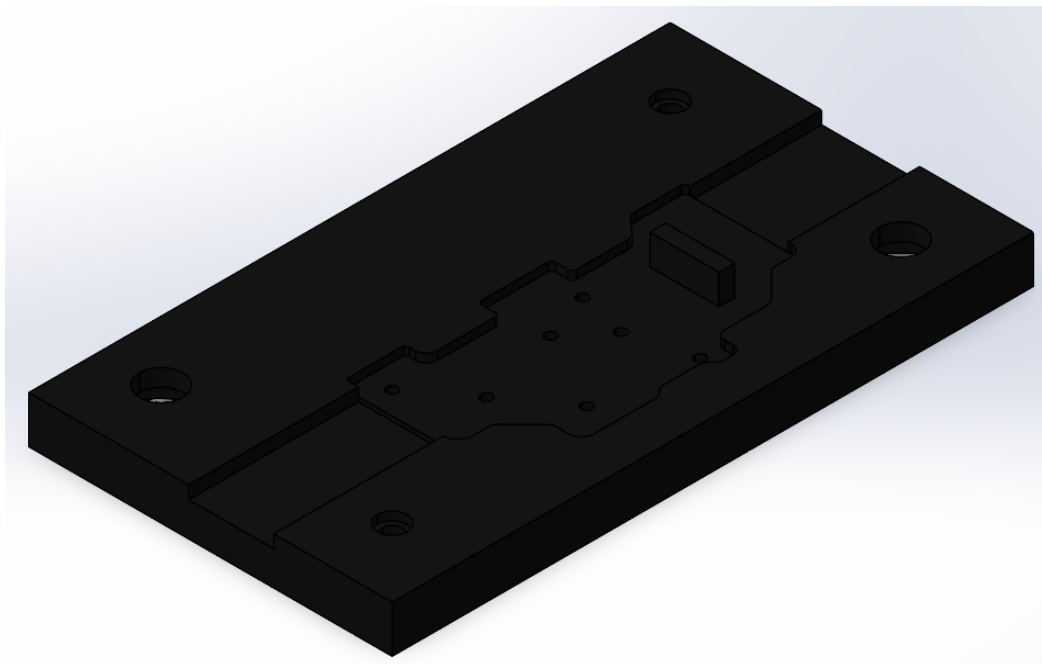


Рис.2.15 Ізометричний вид ложелемента

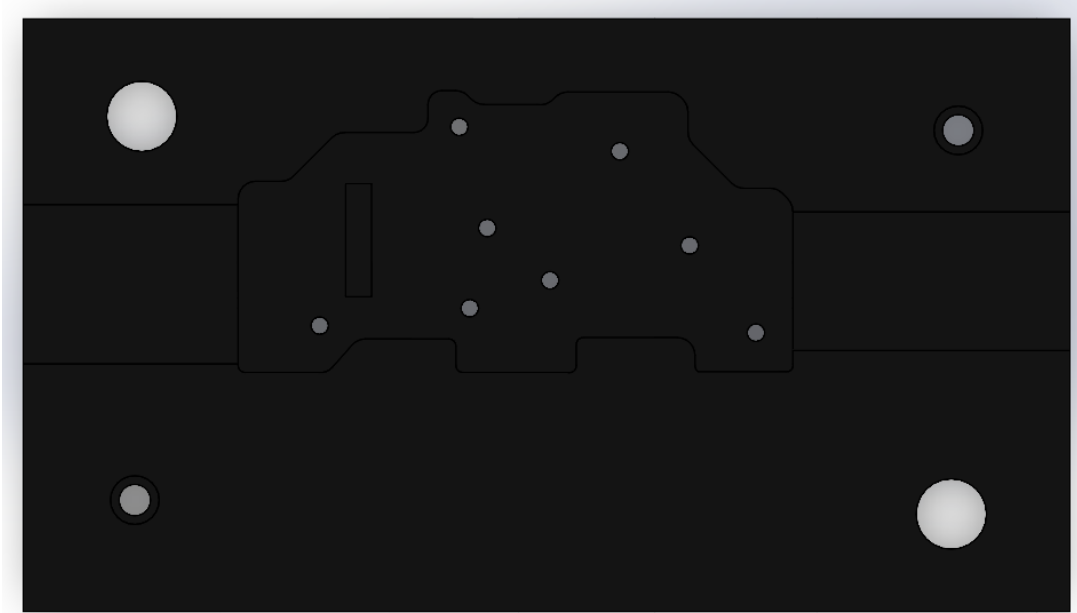


Рис.2.16 Вид зверху на ложелемент

Також невід’ємною частиною стану являється основна плита (рис.2.17), рис.2.18), до неї кріпляться майже всі важливі елементи стану, такі як мотор, плата тестування, плата індикації, підшипники для забезпечення плавного переміщення ложелемнету, кожух з шківками, концевик для того щоб зупинити обертання мотора коли притискна плита буде досягати потрібною точки для тестування.

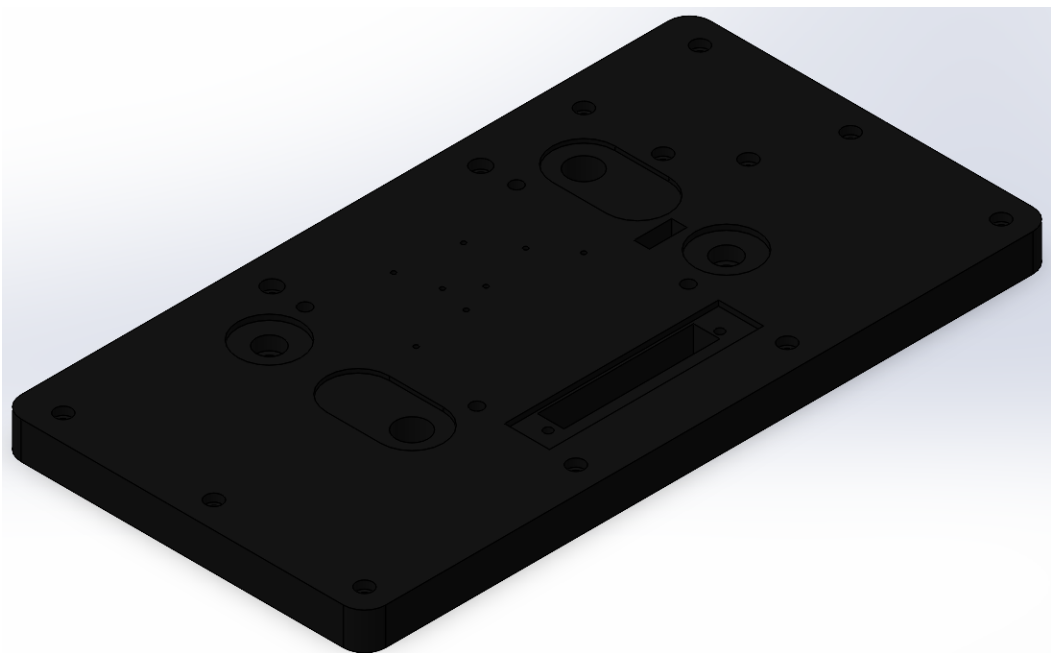


Рис.2.17 Ізометричний вид основної плити

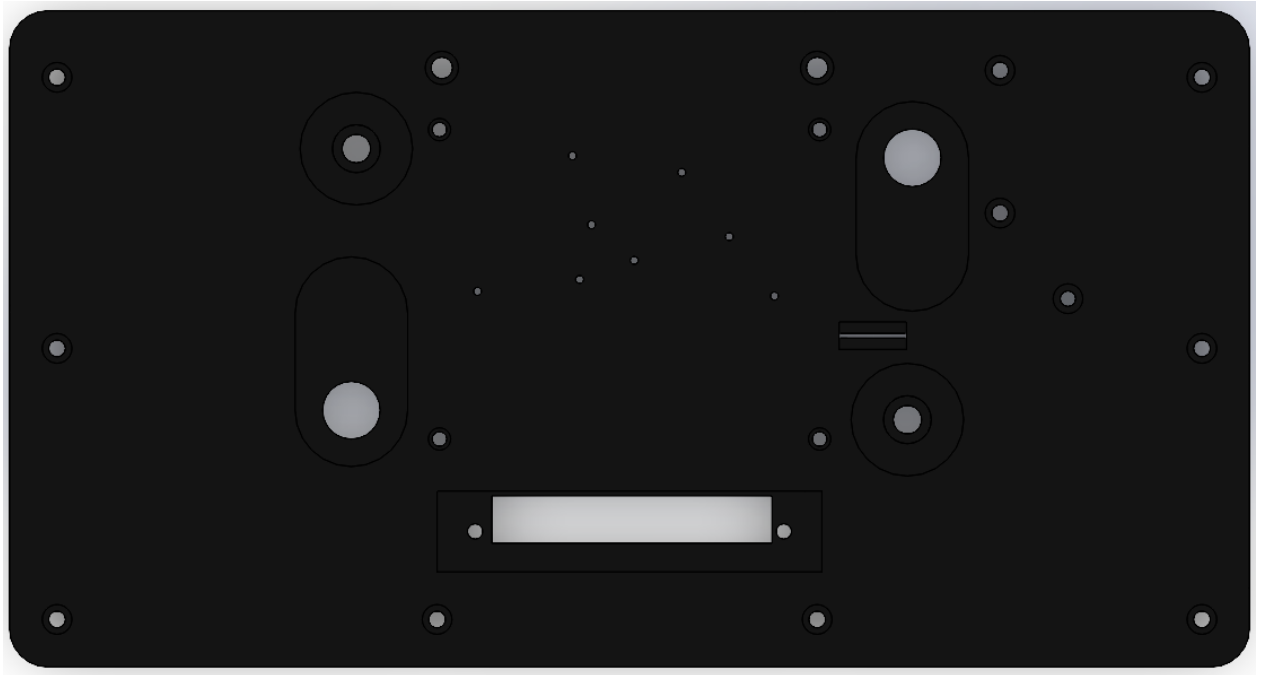


Рис.2.18 Вид зверху основна плита

На рис.2.19 зображено кожух для шківів. В його конструкції було передбачено захист від потрапляння сторонніх предметів в елементи механізму, захист оператора, якщо стенд вийде з ладу. Також було передбачено легкість кріплення до елементів конструкції.

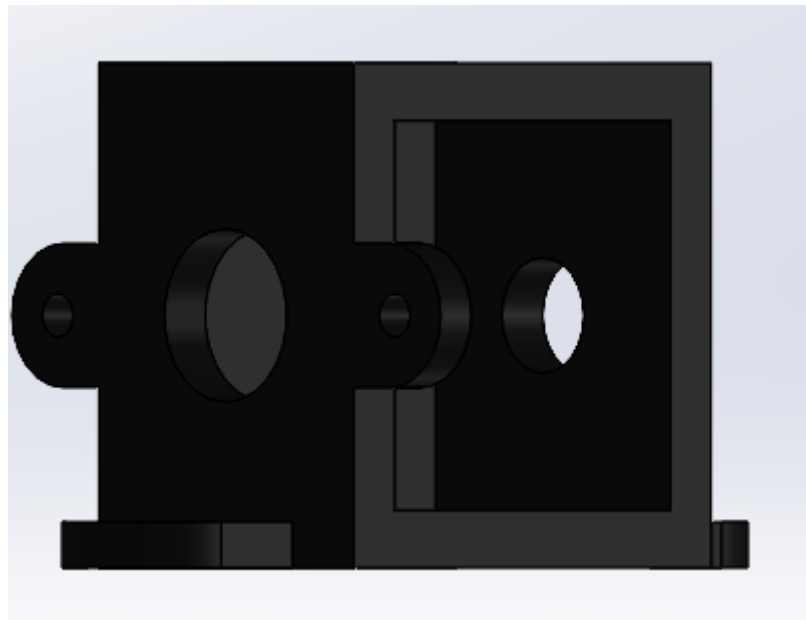


Рис.2.19 Ізометричний вид захисного кожуха для шківів

На рис.2.20 зображено кріплення притискної плити до ременю. Притискна плита кріпиться до ременю затискаючи ремінь між двома плитами, завдяки

цьому притискна плита буде кріпитися надійно до ременя. Задня притискна плита кріпиться до притискної плити за допомогою гвинтів та бонок. Також ще притискна плита кріпиться до направляючих за допомогою лінійних підшипників які забезпечують плавне та рівномірне переміщення без перекосу плити.

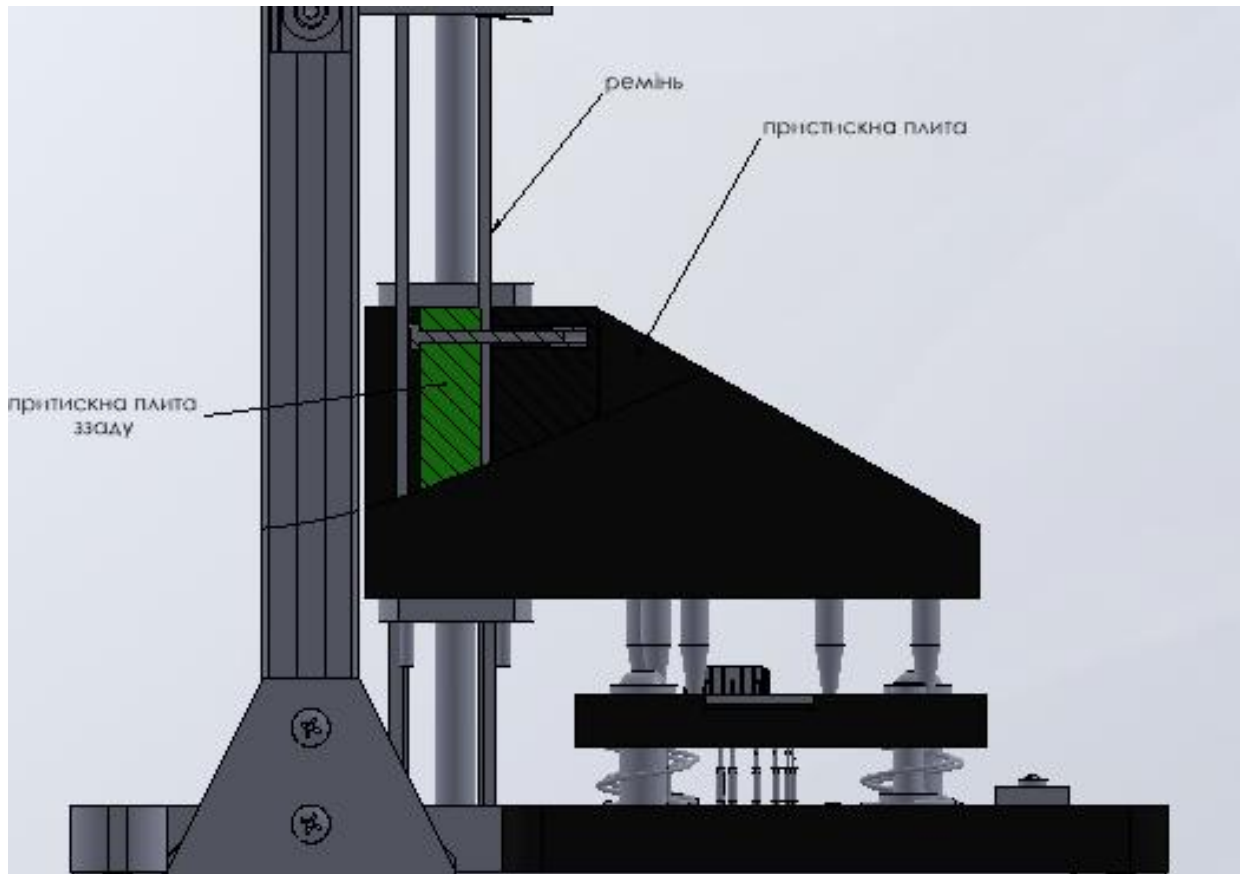


Рис.2.20 3D модель кріплення притискної плити до ременя

На рис.2.21 представлено кріплення ложелемента до основної плити. Кріплення відбувається за допомогою подовжених гайок та штифтів які вільно «ходять» в підшипнику який закріплений в основній плиті за допомогою стопорних кілець. Також пружини, які повертають ложелемент в початкове положення.

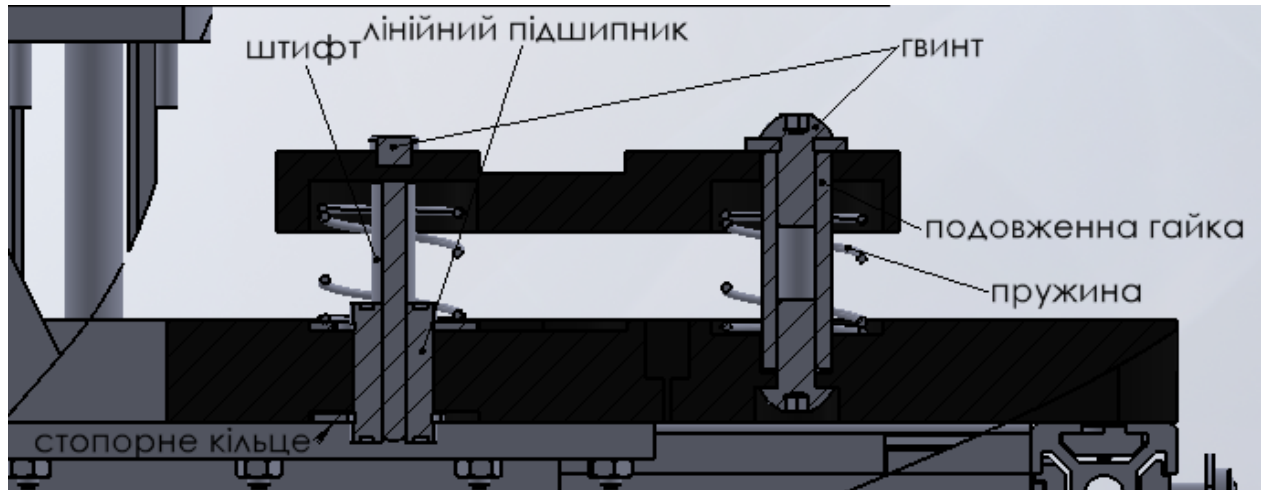


Рис.2.21 Кріплення ложеlementa до основної плити

На рис.2.22, рис.2.23 зображено верхня частина даного стенду, на які розміщені всі механічні елементи: шків, ремінь, притискна плита, ложеlement та основна плита.

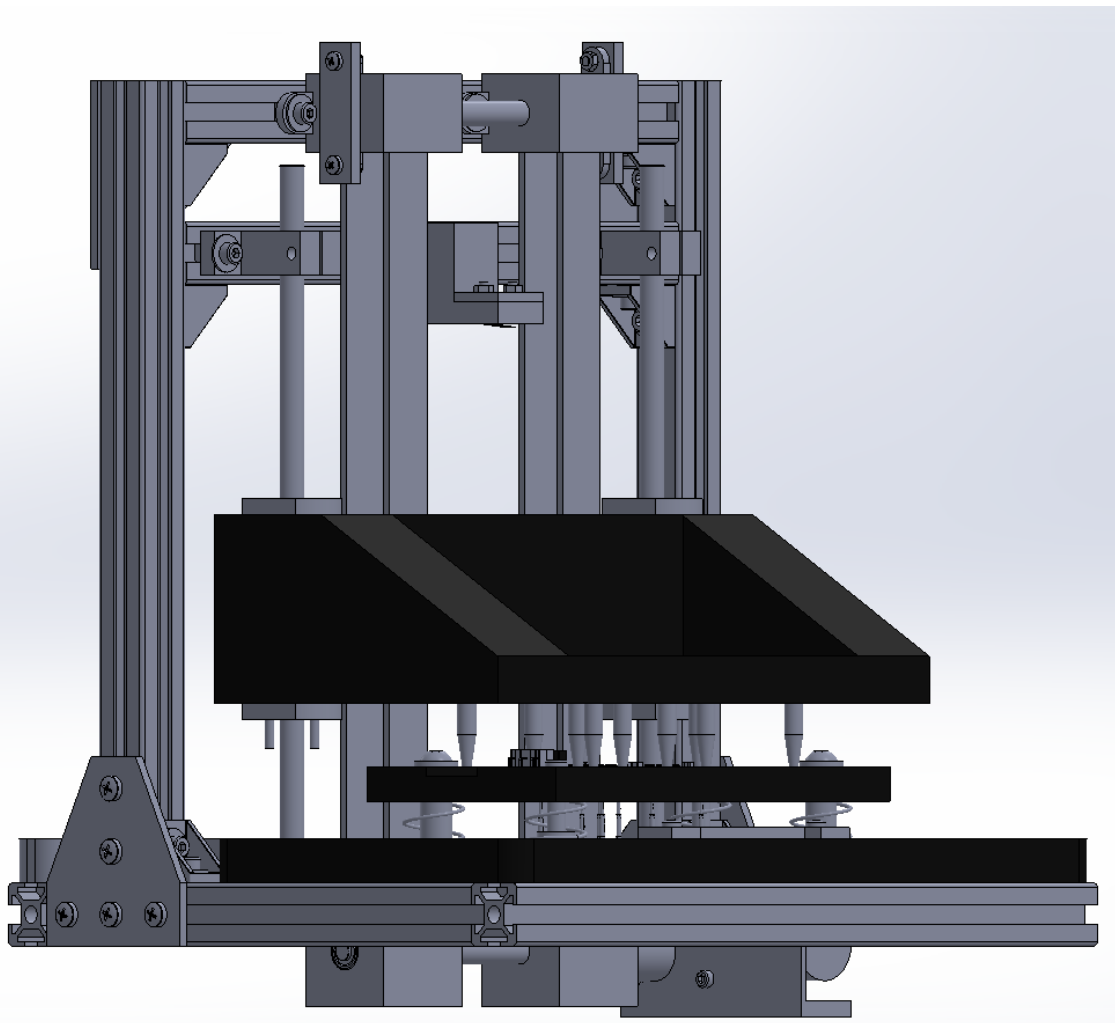


Рис.2.22 Ізометричний вид верхньої частини стенду

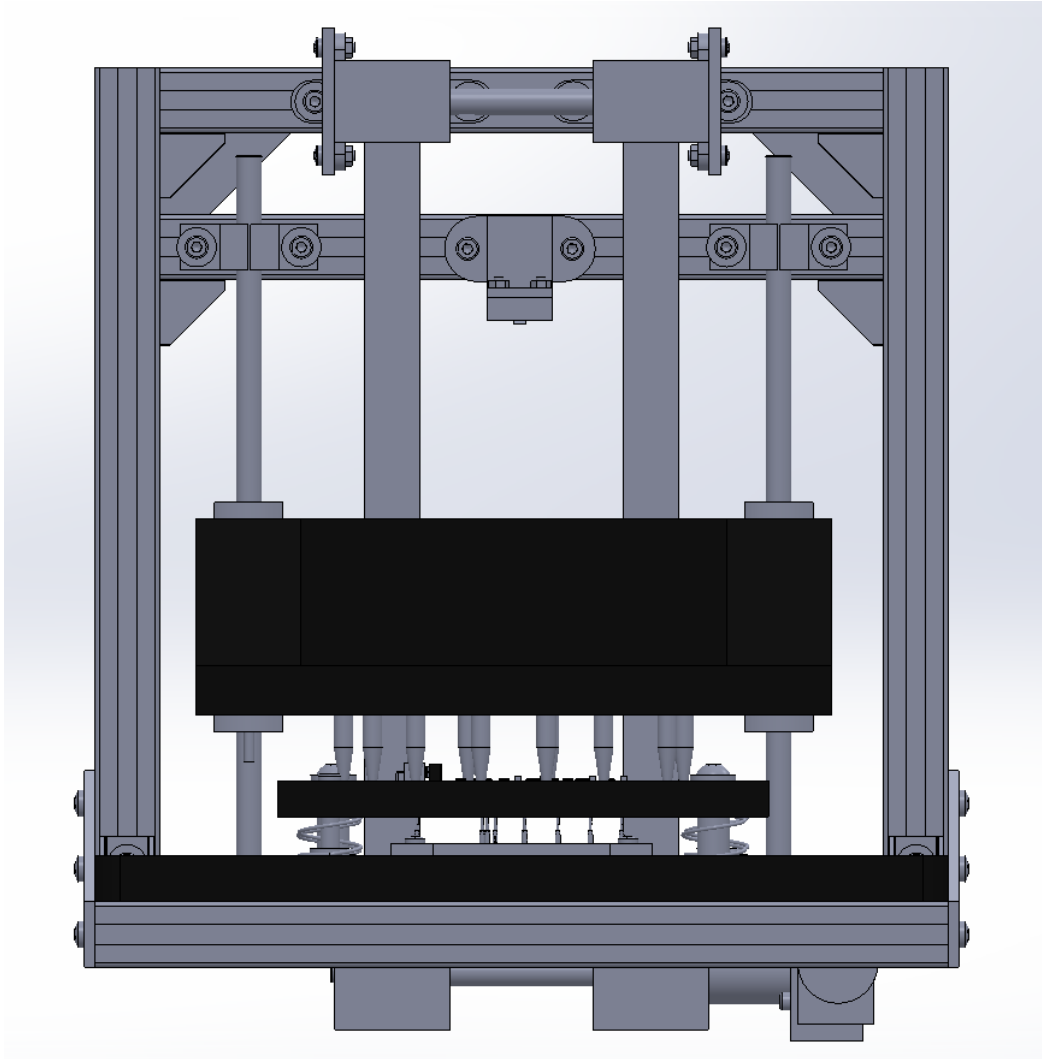


Рис.2.23 Вид спереду на верхню частину стану

На рис.2.24, рис.2.25 зображено нижню частину стану, в якій розміщені електричні компоненти: блок живлення, Arduino UNO, драйвер мотора 1298N міні, кнопки для керування станом, перемикач для включення стану до мережі.

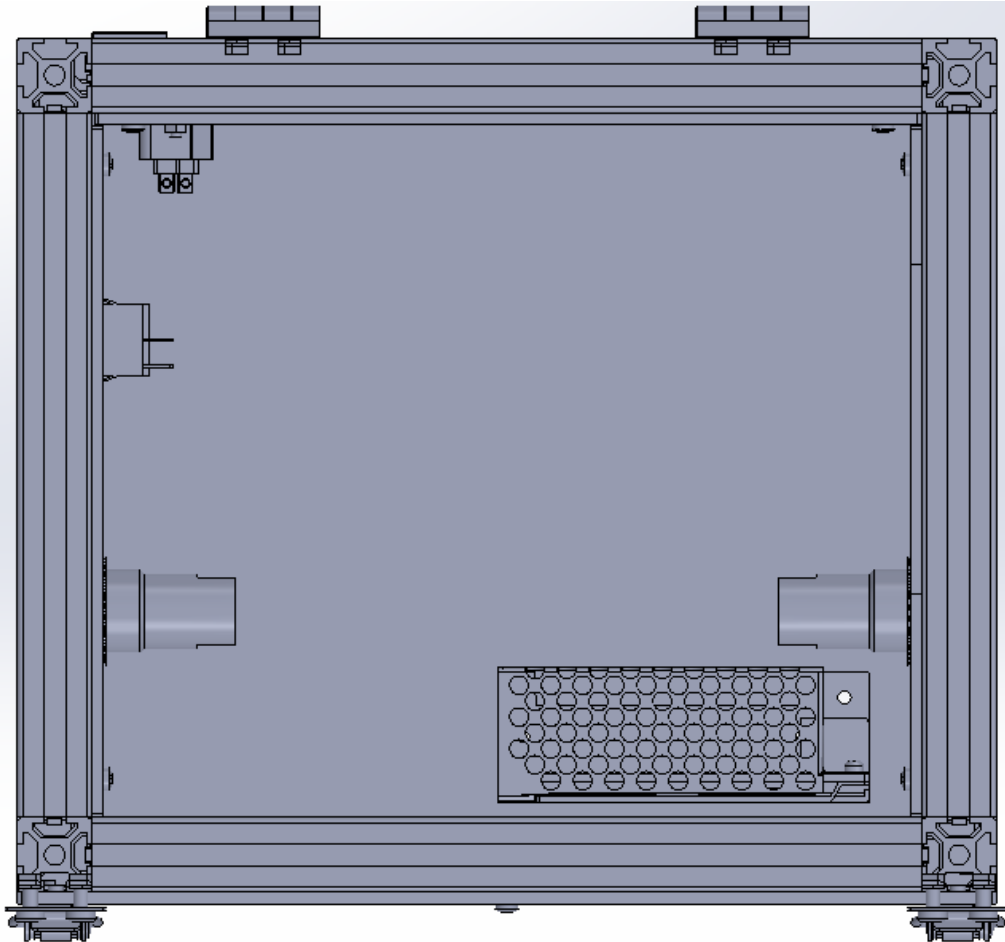


Рис.2.24 Вид зверху на нижню частину стенду

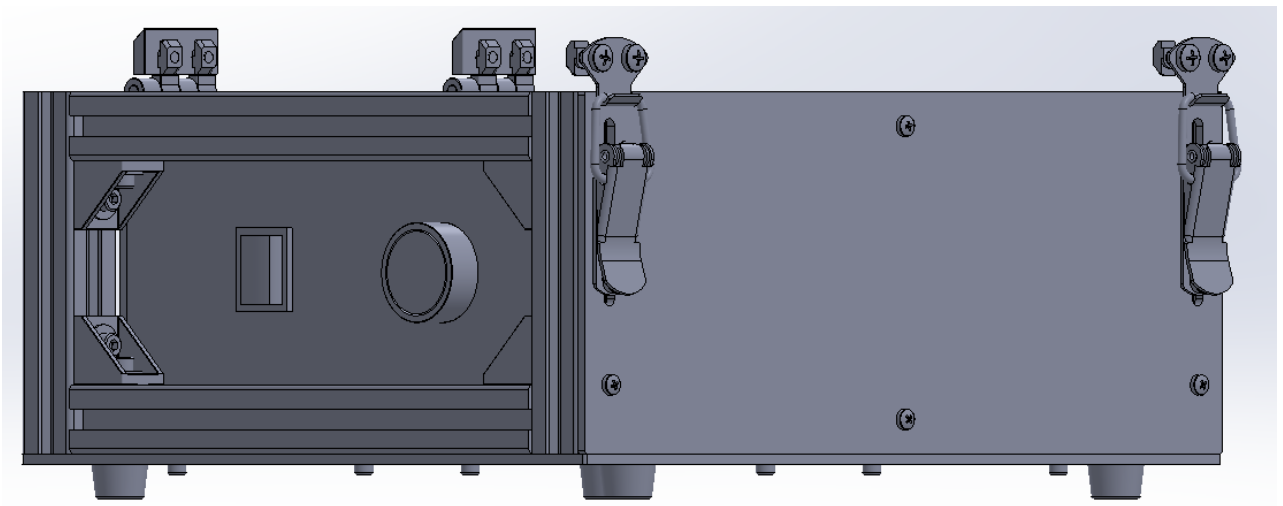


Рис.2.25 Ізометричний вид нижньої частини стенду

З'єднання двох частин стенду відбувається за допомогою двох замків спереду та двох петель ззаду (рис.2.26, рис.2.27). Через таке з'єднання елементів можна швидко та без перешкод мати доступ до електричних компонентів.



Рис.2.26 Замки які з'єднують дві частини



Рис.2.27 Петлі на стенді

На рис.2.28, рис.2.29 зображено збірка стенду в різних видах

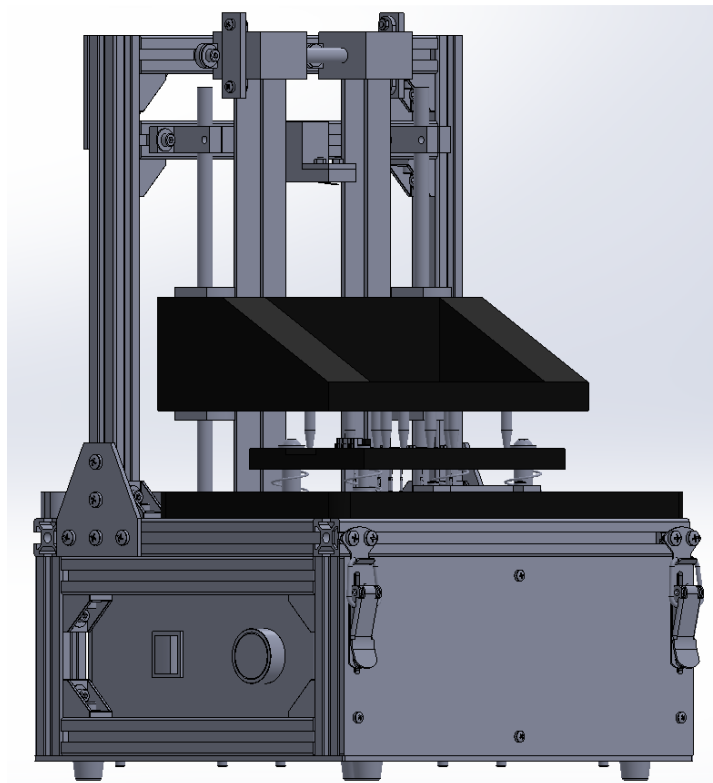


Рис.2.28 Ізометричний вид збірки

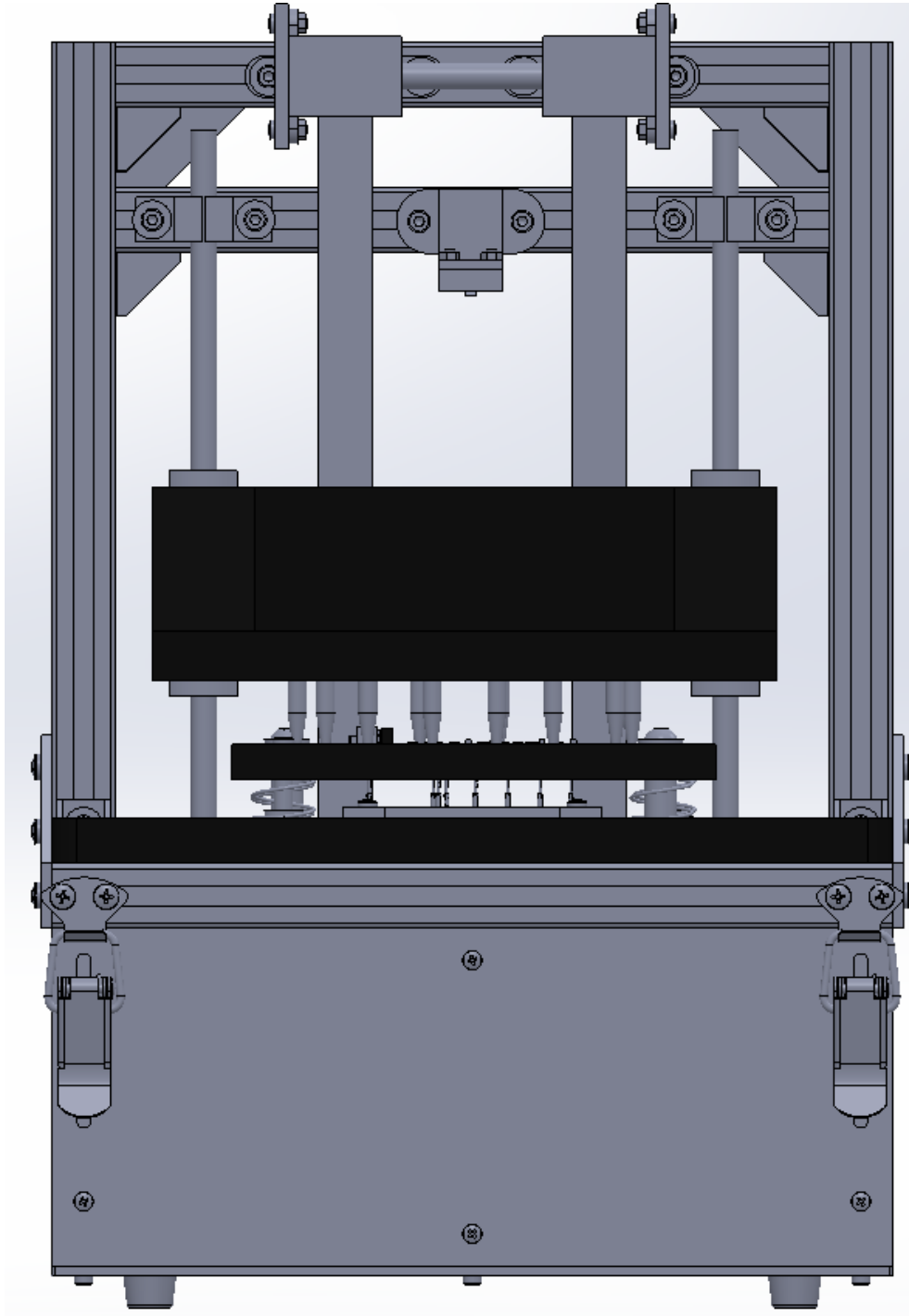


Рис.2.29 Вид збірки спереду

2.5 Розробка програмного забезпечення

Для забезпечення автоматизованого керування рухом притискної платформи стенда було розроблено програмне забезпечення на основі мікроконтролера Arduino Uno. Код реалізовано відповідно до структурної схеми системи керування, в якій враховано основні вимоги для автоматизації: безпечно

керування напрямком руху, обробку стану кнопок оператора та контроль положення платформи.

У програмі передбачено визначення початкового положення притискної плити, її автоматичний рух у заданому напрямку та зупинку при досягненні крайньої позиції. Логіка реалізована так, щоб уникнути небезпечного перевантаження або механічного блокування рухомих елементів. Зокрема, використання двох кінцевих вимикачів забезпечує захист від виходу за межі дозволеного ходу, а одночасне натискання двох кнопок запуску гарантує участь оператора у процесі активації циклу, що зменшує ймовірність випадкового спрацювання.

Особливу увагу приділено забезпеченню простоти адаптації коду під можливі зміни конструкції стенда, що досягається шляхом використання базових логічних умов, змінних напрямку руху, а також чіткої структури керуючих функцій.

Таким чином, створене програмне забезпечення забезпечує базову автоматизацію механічного приводу стенда, що є важливим кроком до реалізації повноцінної автоматизованої системи тестування друкованих плат.

2.6 Висновки до другого розділу

Стенд було зібрано з урахуванням принципів модульності та уніфікації, що дало змогу використати стандартні промислові компоненти, доступні на ринку, без потреби у виготовленні дорогих індивідуальних деталей. Усі вузли конструкції спроектовано так, щоб забезпечити простоту монтажу й демонтажу, а також можливість швидкої заміни окремих модулів, зокрема контактної плати, шківів, ременя. Корпус стенда виконано з алюмінієвого профілю та пластику, що забезпечує достатню жорсткість і водночас знижує вагу конструкції. Особливу увагу приділено ергономіці — розміщення елементів дозволяє оператору легко виконувати технічне обслуговування, перепрограмування чи зміну тестових плат. Такий підхід не лише зменшує загальну собівартість виготовлення системи, але й робить її придатною для серійного виробництва або масштабування з мінімальними витратами.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було проведено комплексний аналіз сучасних методів тестування друкованих плат, класифікацію різних типів стендів за рівнем автоматизації, а також було надано оцінку існуючих промислових та лабораторних рішень. Основною метою дослідження стало обґрунтування доцільності створення автоматизованого стенду, який в собі поєднує доступність, простоту конструкції та функціональну ефективність.

У першому розділі було розглянуто типи та принцип побудови стендів для тестування плат, їх класифікацію за способом взаємодії з платою, конструктивними особливостями та рівнем автоматизації. Проаналізовано сучасні методи тестування, включаючи метод «ложе цвях», система з літаючими щупами, функціональне тестування та оптичне тестування. Наведено порівняння промислових аналогів таких як, SPEA 3030BT, RoBAT S1, VoxProber.

У другому розділі було зроблено акцент на проектуванні та виборі технічних засобів автоматизації. Також було проведено аналіз матеріалів для розробки стенду та вибрано найбільш підходящий.

В результаті дослідження було спроектовано концепцію автоматизованого стенду для перевірки друкованих плат, який дозволяє реалізувати базові функції електричного тестування, забезпечити адаптивність до різних типів плат, а також автоматизувати частину операцій. Запропоноване рішення є економічно доцільним і може бути використане у навчальних закладах, дослідницьких лабораторіях, а також на малосерійних виробництвах.

Проведене дослідження сприяє подальшому розвитку доступних технологій автоматизації контролю якості, а результати роботи можуть стати основою для створення більш складних модульних систем з розширеним функціоналом. Отримані підходи та рішення доводять можливість ефективного поєднання апаратної та програмної частини з метою реалізації гнучких та доступних засобів тестування друкованих плат.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балагура К. В., Міщенко А. Ю. Автоматизовані системи оптичної перевірки друкованих плат: огляд технологій // *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Технічні науки.* — 2024. — № 5(1). — С. 231–236. — URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/5_2024/part_1/42.pdf
2. PCB Electrical Tests: Що потрібно знати про електричне тестування друкованих плат [Електронний ресурс]. — URL: <https://uetpcb.com/uk/something-you-need-to-know-about-pcb-electrical-tests/>
3. Achieving zero defects: Quality control in PCB manufacturing. GreatPCB [Електронний ресурс]. — URL: <https://greatpcb.com/uk/achieving-zero-defects-quality-control-in-pcb-manufacturing/>
4. Зінгер Я. Л., Адаменко Ю. Ф. Наскрізна розробка інтелектуальної техніки. Частина 2: Конспект лекцій / Я. Л. Зінгер, Ю. Ф. Адаменко. — Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 108 с. — С. 80–83. — Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/f86043c1-c105-4f59-ba6b-25fbf12015b5/content>
5. *PCB and Assembly* [Електронний ресурс]. — URL: <https://pcbandasassembly.com/uk/blog/three-common-printed-circuit-board-testing-methods/>
6. Прилад для автоматизованого контролю друкованих плат [Електронний ресурс]. — Наукова електронна бібліотека НТУУ "КПІ". — URL: <https://ela.kpi.ua/items/d7f49d95-ba99-4e9f-942e-60c6c548348c>
7. Клебан О. Моделювання та оптимізація процесу тестування друкованих плат [Електронний ресурс] / О. Клебан. — Київ : ДУІКТ, 2021. — С. 5–6. — Режим доступу: https://duikt.edu.ua/repozitorii/system_analiz/2021/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%20%D0%9A%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%20%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B

D%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%83%20%D1%82%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B4%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82.pdf

8. Якість виготовлення друкованих плат [Електронний ресурс]. — URL: <http://radio-vtc.inf.ua/Quality/L8.pdf>
9. SPEA 3030BT — Benchtop Multi-Function Board Tester [Електронний ресурс]. — URL: <https://www.spea.com/en/products/3030bt-benchtop-multi-function-board-tester/>
- 10.S1 Fixtureless Test — Robattest [Електронний ресурс]. — URL: <https://robattest.com/product/s1-fixtureless-test-2/>
- 11.Prober Adjust — TestElectronics [Електронний ресурс]. — URL: https://testelectronics.com/BON/prober_adjust.php
- 12.Arduino. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software>
- 13.<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e2632da1-2970-456f-badb-44c1fe276d3b/content>
- 14.Arduino Uno. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
- 15.Arduino Mega 2560. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560>
- 16.Arduino Due. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Due>
- 17.Arduino Pro Mini. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/ProMini>
- 18.Arduino Pro Mini. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano>
- 19.Arduino Leonardo. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Leonardo>
- 20.Мотор-редуктор черв'ячний [Електронний ресурс]. — URL: <https://cncprom.ua/ua/p1362506823-motor-reduktor-chervyachnyj.html>
- 21.Двигун NEMA 23 Stepper [Електронний ресурс]. — URL: <https://www.leisonmotor.com/nema-23-stepper-18-degree-stepper-motor>

22.Мотор з редуктором 12V 100RPM [Електронний ресурс]. — URL:
<https://diyshop.com.ua/ru/motor-dvigatel-jga25-370-s-reduktorem-metallicheskij-12v-100-rpm>

ДОДАТОК А

СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ, РОБОТОТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ INDUSTRY

4.0

Тема: ПУМПБ-2025, Секція 4

Посилання Zoom:

<https://us04web.zoom.us/j/71255184892?pwd=f9YaLzo8iW7WxbJ6ENMnijEm8qsYNY.1>

Ідентифікатор конференції: 712 5518 4892

Код доступу: 3scEQb

Середа, 14 травня 2025

14:30

А.Р. Бондар, студент гр. ПГ-41, д.т.н., доц. Галаган Р.М.

РОЗРОБКА ГОЛОСОВОГО АСИСТЕНТА

В.О. Задорожний, студент гр. ПГ-11, к.т.н., ас. Рупіч С.С.

МОДУЛЬ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ОСВІТЛЕННЯ

А.В. Котусенко, студент гр. ПК-11, д-р. філос. Момот А.С.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ

П.О. Петренко, студент гр. ПО-41, к.т.н., доц. Галаган Р.М.

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ СЕРВЕРНЕ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ ВИРОБНИЦТВАМИ

В. А. Служак, студент гр. ПМ-11, к.т.н., доц. Писарець А. В.

КЛАСИФІКАЦІЯ ІРИГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Устищенко В.Ю., студент гр. ПГ-11, к.т.н., доц. Сапегін О.М.

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАТ

О.І. Ілляшик, студ. гр. ПМ-11, к.т.н., С.О. Нечай, д.т.н., проф. О.М. Безвесільна

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР

УДК 531.383

Устименко В.Ю., студент гр. ПГ-11, к.т.н. доц. Сапегін О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТЕНДУ ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАТ

Анотація. Розроблено конструкцію автоматизованого стенда для тестування плат у середовищі автоматичного проектування SolidWorks.

Ключові слова: автоматизація, стенд.

ВСТУП

У сучасних умовах зростаючих вимог до надійності й точності електромеханічних систем особливої актуальності набуває автоматизація процесів контролю та налаштування електронних плат. До таких електромеханічних систем відносяться твердотільні вібраційні гіроскопи організації масового виробництва яких вимагає автоматизованого обладнання тестування їх електронних блоків, що дозволяє підвищити швидкість і достовірність перевірки їхньої працездатності.

Особливу увагу привертають стенди, що дозволяють проводити тестування в умовах максимально схожих на експлуатаційні. Одним з таких рішень є використання ремінної як складової механізму тестового стенда. Вона забезпечує точну та стабільну передачу руху, необхідну для відтворення динамічних навантажень під час перевірки.

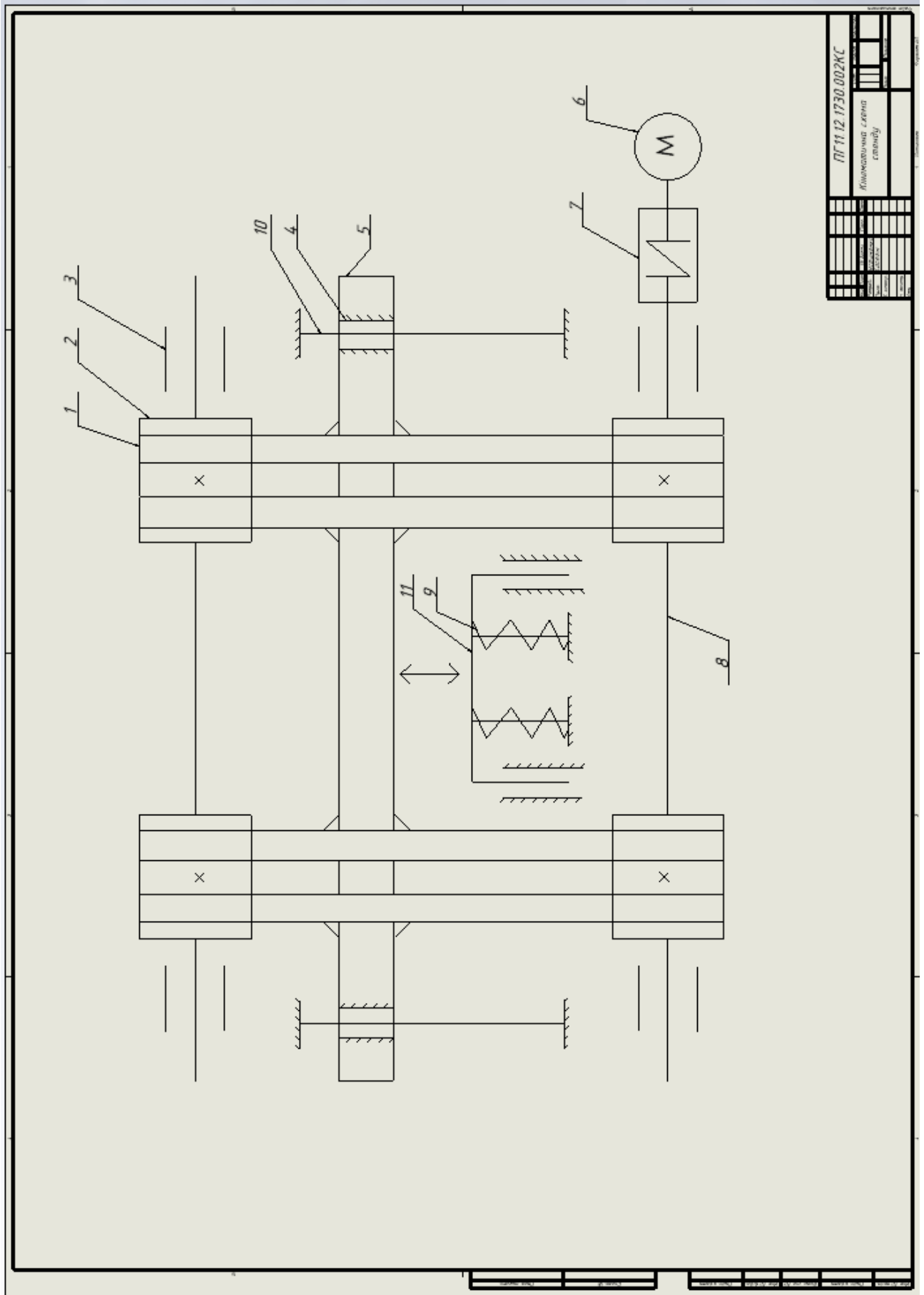
Автоматизований стенд також дає змогу досліджувати міцність конструкції електронних плат, оцінювати їхню стійкість до механічного навантаження, яке виникає під час контрольованого притискання плати притисною плитою. Крім того, він надає можливість виконувати точкову діагностику – зокрема, перевіряти наявність і проходження електричного струму в заданих точках плати, що дозволяє оперативно виявити несправності або дефекти монтажу.

Розробка автоматизованого стенда з ремінною передачею спрямована на підвищення ефективності системи контролю якості, зниження витрат і впливу людського чинника

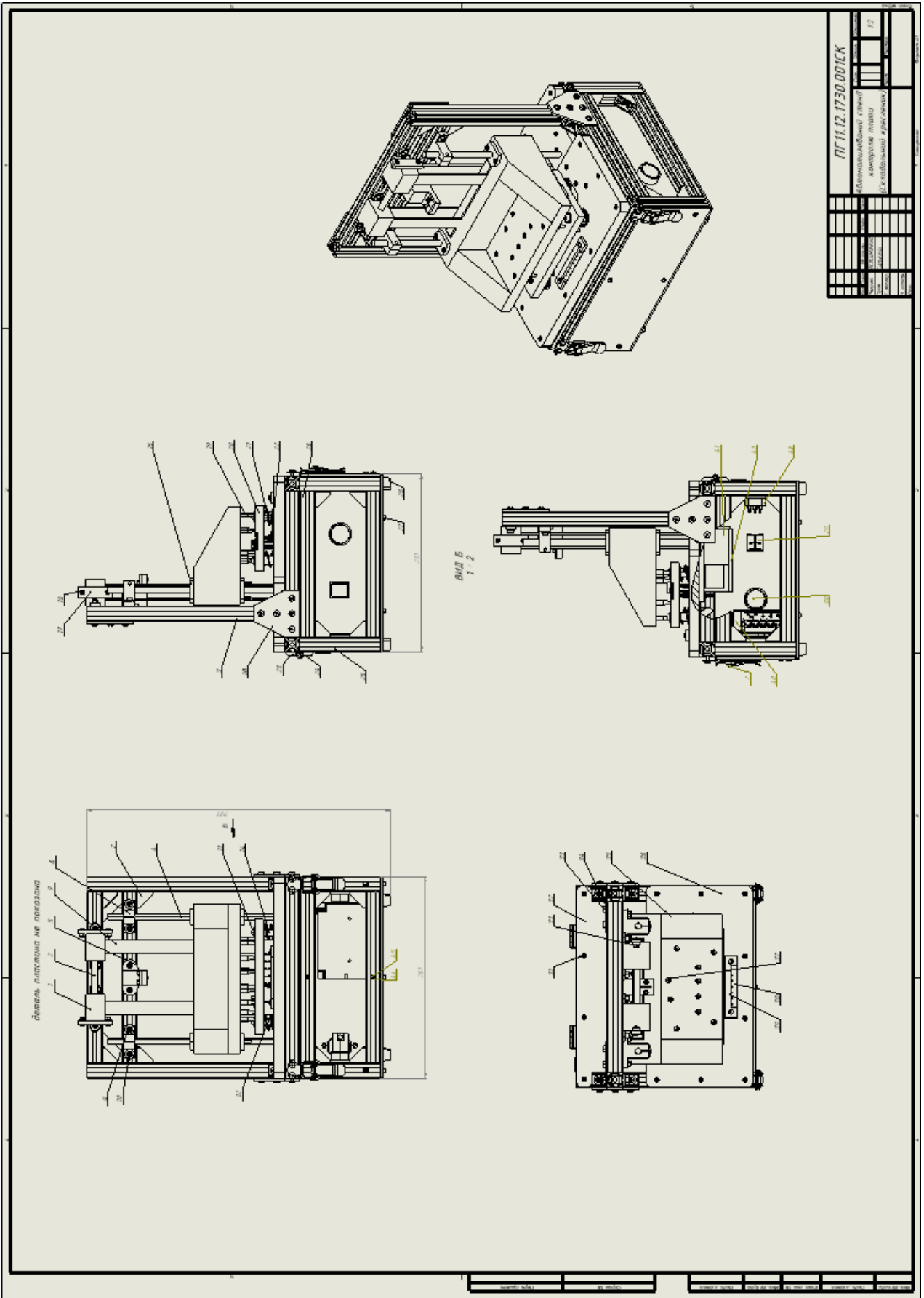
ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ

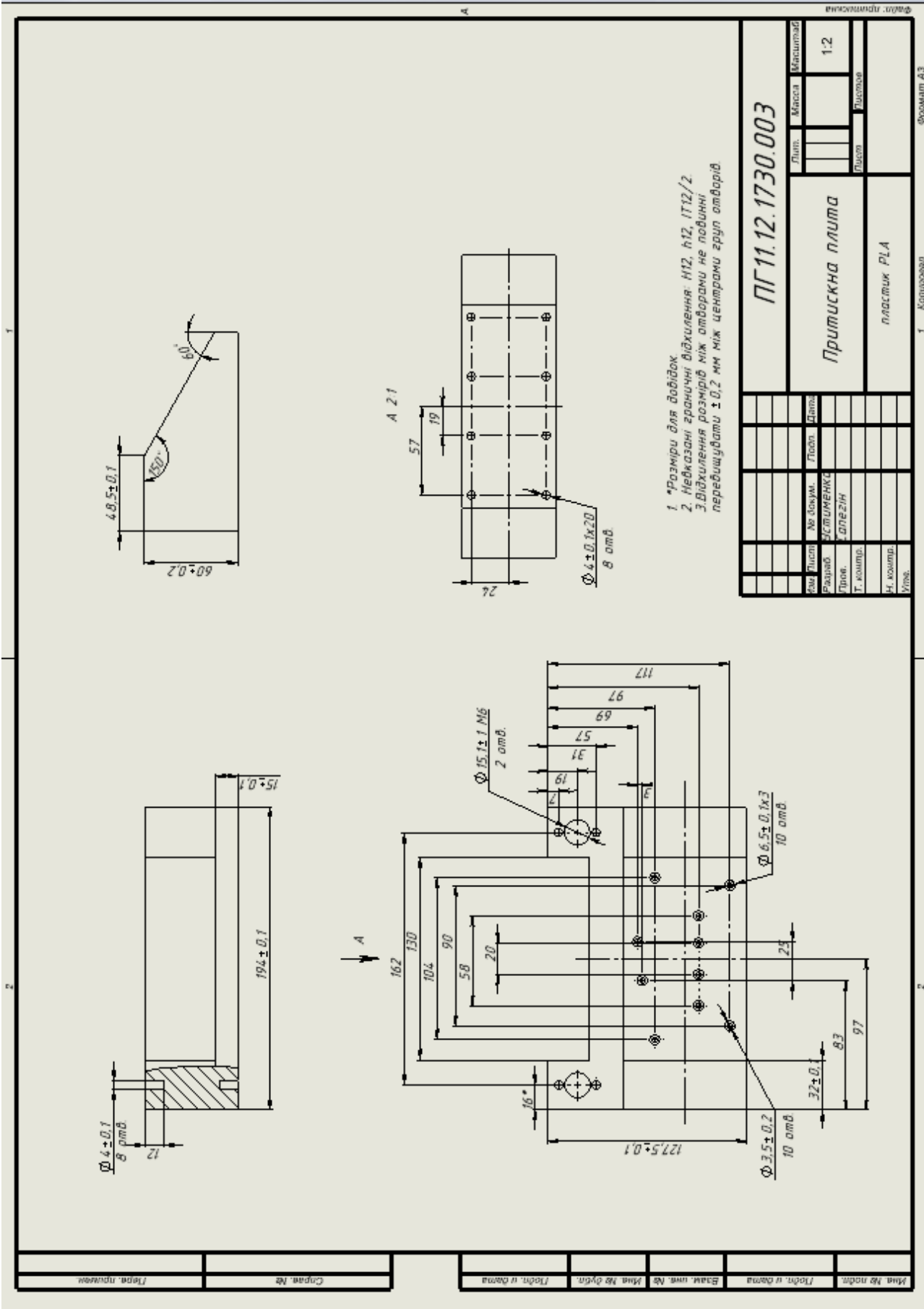
На сучасному ринку представлено широкий вибір промислових рішень для автоматизованого тестування електронних плат, зокрема таких виробників, як Yamaha [1], RoBAT [2] та SPEA [3]. Наприклад, Yamaha Micro Prober вирізняється високою точністю зондування та мікропозиціонування. RoBAT Test Systems пропонує комплексні системи функціонального тестування, а SPEA 3030BT забезпечує повний цикл контролю з високою швидкістю та точністю. Однак усі ці системи мають спільний суттєвий недолік — їхня вартість і складність обслуговування робить їх недоступними для малих підприємств, навчальних закладів чи лабораторій із обмеженим бюджетом. Вартість таких стендів досягає десятків тисяч євро, а також передбачає додаткові витрати на навчання персоналу та технічну інтеграцію, що суттєво ускладнює їх використання у проєктах із невеликим масштабом.

ДОДАТОК Б



ДОДАТОК В

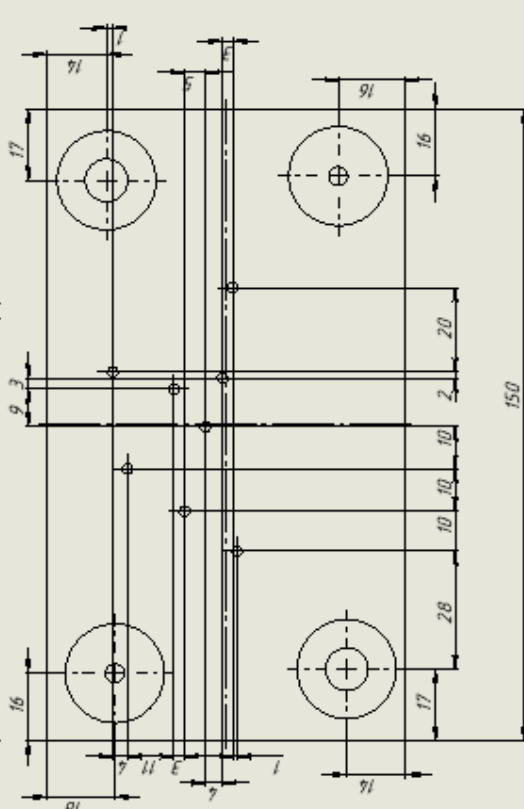
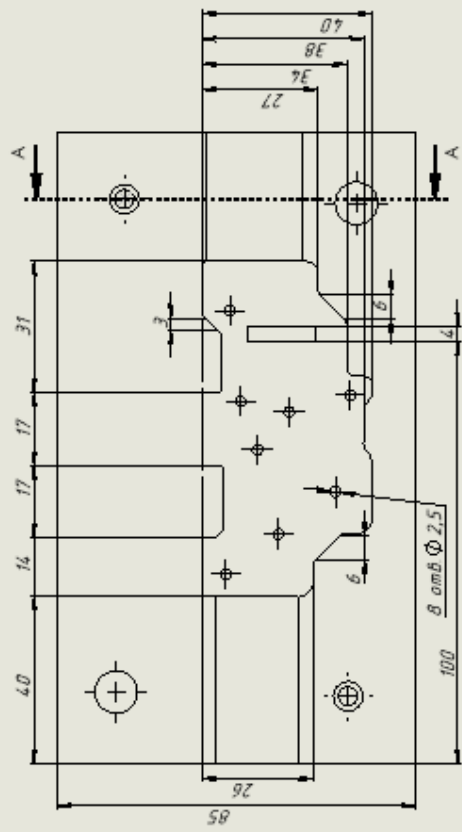
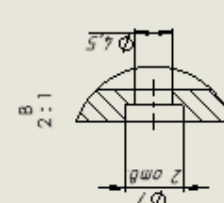
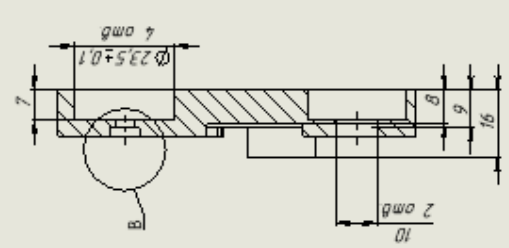
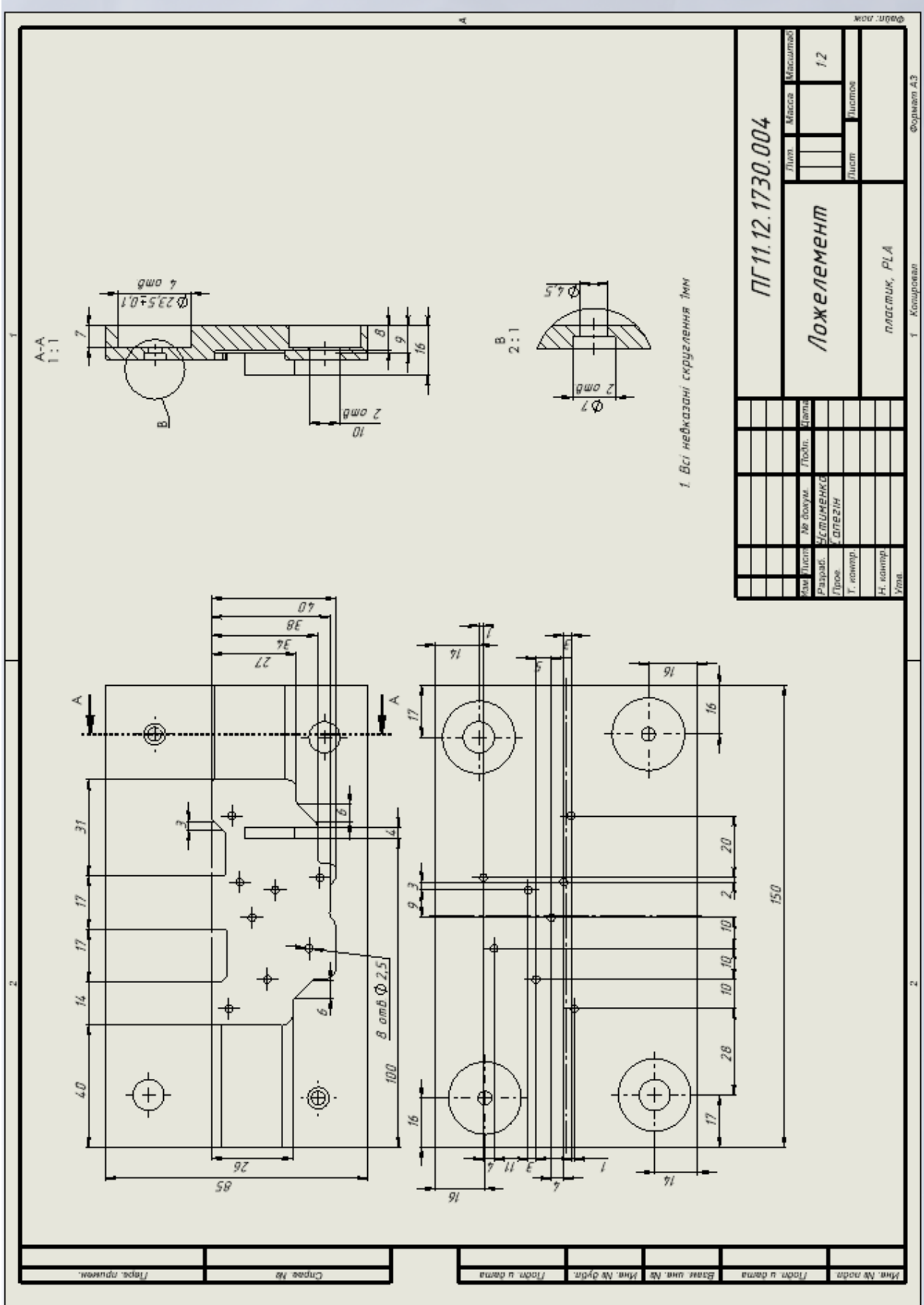




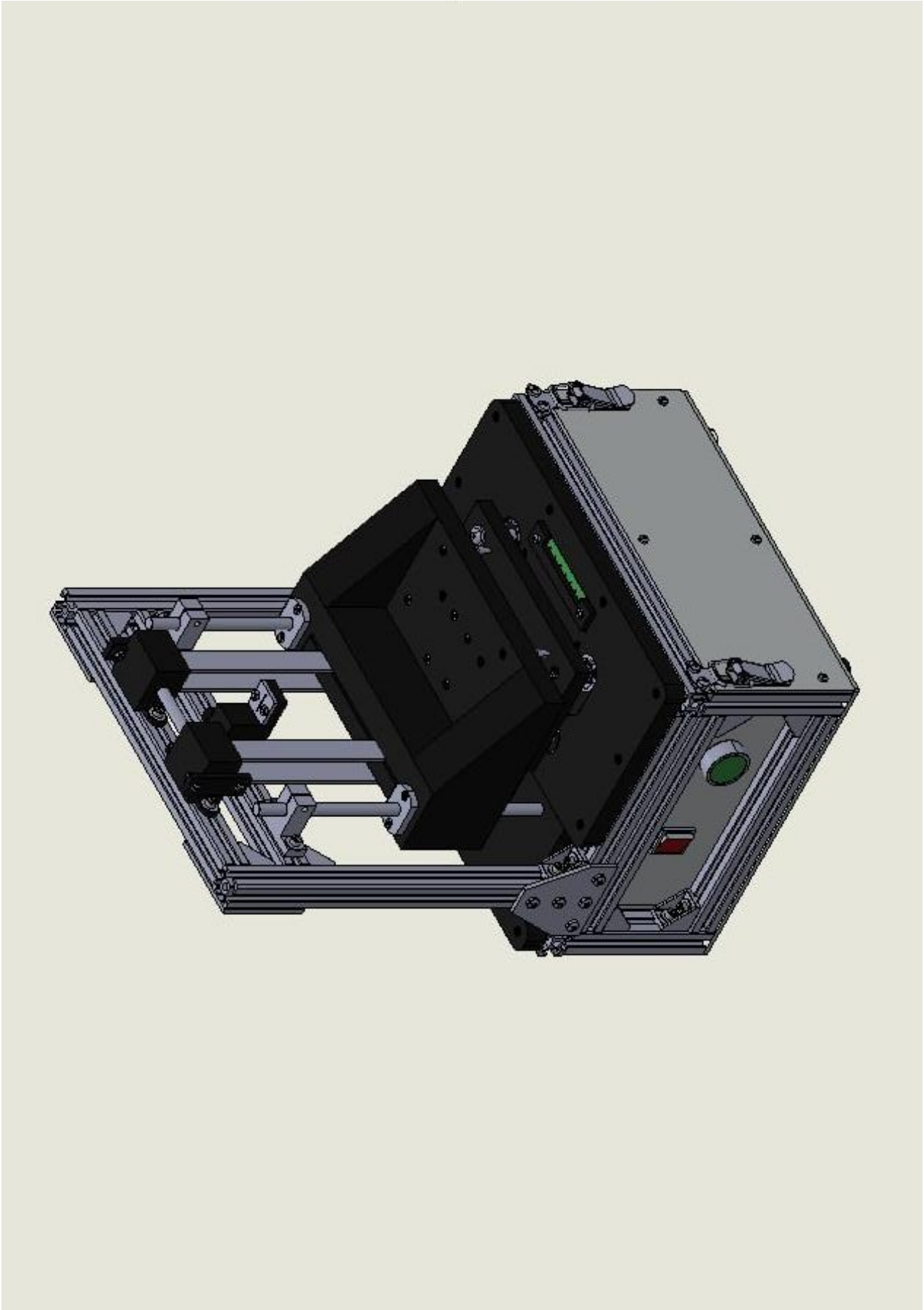
1. *Разміри для довідок
2. Невказані граничні відхилення: H12, h12, IT12/2.
3. Відхилення розмірів між отворами не повинні перевищувати ±0.2 мм між центрами груп отворів

Лист		Масштаб	
		Листов	1:2
ПГ11.12.1730.003			
Притискальна плита		пластик P/A	
Вид	Лист	№ докум.	Лист
Розроб	ЗСТУМЕНКО		Дата
Проєк	ДЛЕЗІН		
Т. констр.			
Н. констр.			
Уклад.			

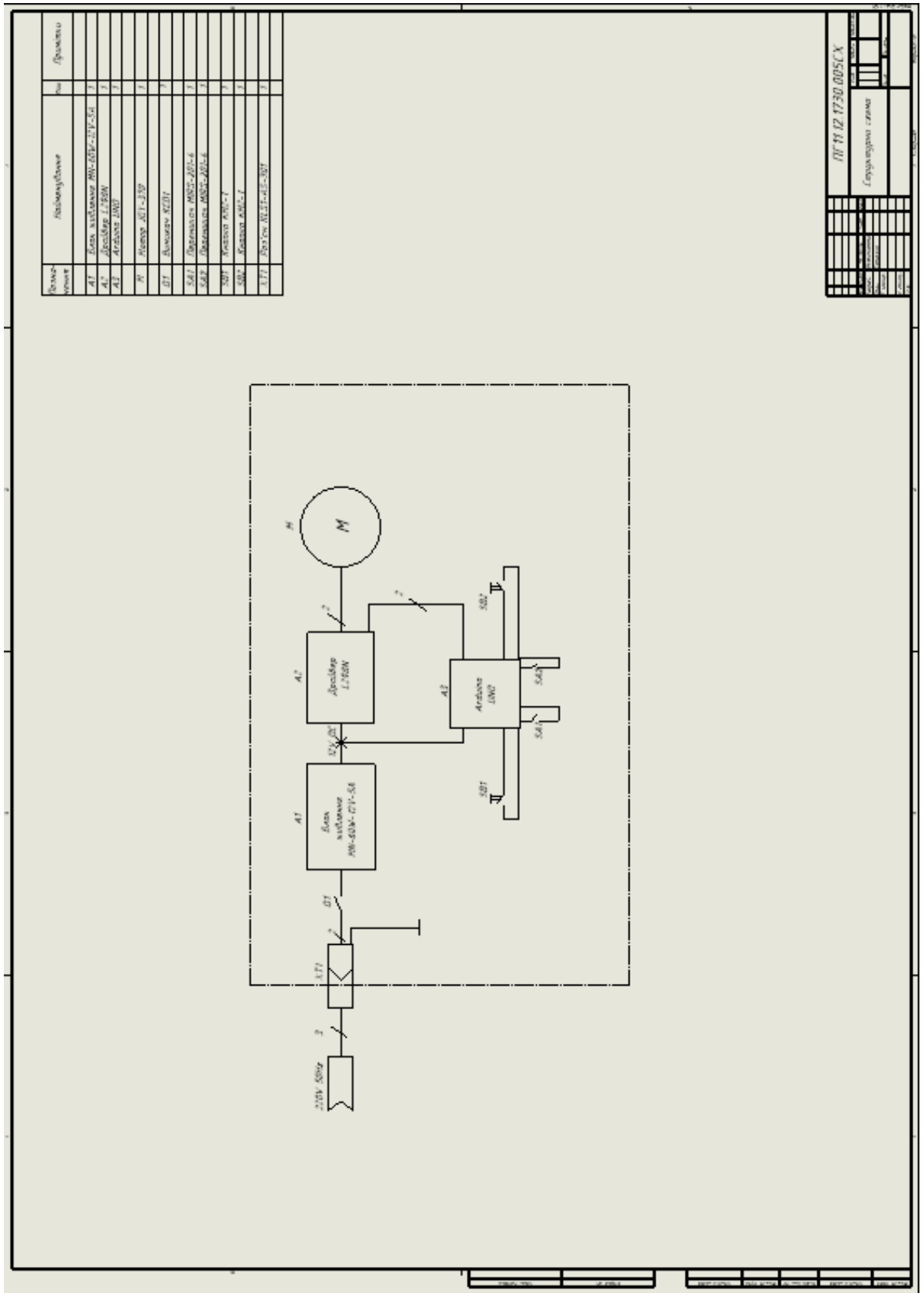
№ докум.	Трив. в днях	Взам. інв. №	№ докум.	№ докум.	Трив. в днях
Справ. №		Трив. пускання			



Мат. № подл.	Лист в дета.	Взам. шн. №	Мат. № дрил.	Лист в дета.
Стор. №	Лист. друк.			



ДОДАТОК Г



Знак-механика	Наименование	Кол-во	Примечание
A1	Блок выключатель ВН-600-CT1-58	1	
A2	Дроссель L180W	1	
A3	Автомат L180W	1	
B	Реле АТ1-3УР	1	
DT	Выключатель КЭВ	1	
SA1	Пускатель АЭС1-201-4	1	
SA2	Пускатель АЭС1-201-4	1	
SB1	Кнопка АБС-7	1	
SB2	Кнопка АБС-7	1	
SB3	Кнопка АБС-7	1	
3.17	Плавкий предохранитель	1	

ИТН 12 1730.005СХ	
Генеральный директор	
Исполнитель	_____
Проверенный	_____
Согласованный	_____
Утвержденный	_____

ДОДАТОК Д

```
const int button1Pin = 2;
const int button2Pin = 3;
const int limitSwitch1Pin = 4;
const int limitSwitch2Pin = 5;
const int motorIn1 = 6;
const int motorIn2 = 7;

bool directionForward = true;
bool motorRunning = false;

void setup() {
  pinMode(button1Pin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(button2Pin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(limitSwitch1Pin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(limitSwitch2Pin, INPUT_PULLUP);

  pinMode(motorIn1, OUTPUT);
  pinMode(motorIn2, OUTPUT);

  stopMotor();
}

void loop() {
  bool button1Pressed = digitalRead(button1Pin) == LOW;
  bool button2Pressed = digitalRead(button2Pin) == LOW;
  bool limit1Pressed = digitalRead(limitSwitch1Pin) == LOW;
  bool limit2Pressed = digitalRead(limitSwitch2Pin) == LOW;

  if (button1Pressed && button2Pressed && !motorRunning) {
    motorRunning = true;

    if (limit1Pressed) {
      directionForward = false;
    } else if (limit2Pressed) {
      directionForward = true;
    }

    if (directionForward) {
      moveForward();
    } else {
      moveBackward();
    }
  }
}
```

```
}

if (motorRunning) {
  if (directionForward && digitalRead(limitSwitch2Pin) == LOW) {
    stopMotor();
    motorRunning = false;
  } else if (!directionForward && digitalRead(limitSwitch1Pin) == LOW) {
    stopMotor();
    motorRunning = false;
  }
}
}

void moveForward() {
  digitalWrite(motorIn1, HIGH);
  digitalWrite(motorIn2, LOW);
}

void moveBackward() {
  digitalWrite(motorIn1, LOW);
  digitalWrite(motorIn2, HIGH);
}

void stopMotor() {
  digitalWrite(motorIn1, LOW);
  digitalWrite(motorIn2, LOW);
}
```