

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система складання одягу

Назва теми

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Рівень вищої освіти перший

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-22-1

Підпис

Богдан КУЧЕРУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

Підпис

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР

Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«13» червня 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Людмила КОРЕЦЬКА

07 лютого 2026р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кучеруку Богдану Віталійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система складання одягу

Керівник роботи канд. техн. наук, доцент Макаришкін Денис Анатолійович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету № 7 від 20.01.2026р

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2026р

3 Вихідні дані до роботи Методи складання одягу, Види одягу, Етапи виготовлення одягу

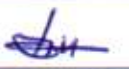
4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд та аналіз проблематики складання одягу, Підбір обладнання для автоматизованої системи складання одягу, Дослідження автоматизованої системи складання одягу

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Радельчук Г.І., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 07.02.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1. Вступ	15.02.2026	Виконано
2. Огляд та аналіз проблематики складання одягу	28.02.2026	Виконано
3. Підбір обладнання для автоматизованої системи складання одягу	30.03.2026	Виконано
4. Дослідження автоматизованої системи складання одягу	30.04.2026	Виконано
5. Висновки	15.05.2026	Виконано
6. Оформлення пояснювальної записки до КРБ	20.05.2026	Виконано
7. Оформлення пояснювальної записки до КРМ	25.05.2026	Виконано
8. Оформлення презентаційних матеріалів	30.05.2026	виконано

Студент



Підпис

Богдан КУЧЕРУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи



Підпис

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система складання одягу».

Автор роботи: Кучерук Богдан Віталійович.

Керівник роботи: Макаришкін Денис Анатолійович.

Пояснювальна записка: 76 с., 33 рис., 15 табл., 51 джерело.

Графічна частина: 14 презентаційних слайдів

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ОДЯГ, СОРОЧКА, ФУТБОЛКА, СКЛАДАННЯ,
МІКРОКОНТРОЛЕР, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК, ТЕНЗОДАТЧИК,
АЛГОРИТМ, ПРОГРАМА, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи складання одягу, зокрема футболок і сорочок, що забезпечує виконання операції складання без участі оператора з заданою точністю та продуктивністю. В роботі проведено підбір обладнання для автоматизованої системи складання одягу. Розроблена система дозволяє автоматизувати процес складання футболок та сорочок без залучення оператора. В результаті запровадження такої системи можна підвищити точність складання одягу перед його подальшим пакуванням, а також вивільнити працівника для виконання інших операцій на виробництві одягу.

02.06.2026.

дата

БК

Підпис

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ СКЛАДАННЯ ОДЯГУ	7
1.1 Огляд та аналіз існуючих методів складання одягу	7
1.2 Області застосування автоматизованої системи складання одягу та актуальність роботи	12
1.3 Методологія проведення дослідження	18
1.4 Висновки до першого розділу.....	20
2 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДАННЯ ОДЯГУ.....	21
2.1 Мікроконтролер.....	21
2.2 Сервопривід	25
2.3 Понижуючий трансформатор	31
2.4 Датчики	33
2.5 Розробка конструкції установки для автоматизованого складання одягу ...	40
2.6 Висновки до другого розділу	48
3 ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДАННЯ ОДЯГУ	49
3.1 Моделювання руху механізмів автоматизованої системи складання одягу	49
3.2 Розроблення електричної схеми	52
3.3 Розроблення програмного забезпечення	55
3.4 Моделювання роботи автоматизованої системи складання одягу	63
3.5 Висновки до третього розділу	67
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	71

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата	Автоматизована система складання одягу Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Кучерук Б.В.	<i>Б.В. Кучерук</i>	02.06.2023		у		
Перевір.		Макаришкін Д.А.	<i>Д.А. Макаришкін</i>	01.06.2023			4	76
Н.контр.		Радельчук Г.І.	<i>Г.І. Радельчук</i>	13.06.2023		ХНУ гр. АКІТ-22-1		
Затвер.		Корецька Л.О.	<i>Л.О. Корецька</i>	13.06.2023				

ВСТУП

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується стрімким впровадженням автоматизованих систем управління в усі без виключення сфери виробничої діяльності людини. Цифровізація технологічних процесів, використання програмованих логічних контролерів, промислових роботів та інтелектуальних систем управління дозволяють суттєво підвищити продуктивність праці, знизити відсоток браку та забезпечити стабільну повторюваність технологічних операцій незалежно від людського фактору. Автоматизація охоплює машинобудування, харчову промисловість, фармацевтику, логістику, сільське господарство та десятки інших галузей, поступово витісняючи ручну працю там, де точність, швидкість і безперервність виконання операцій є визначальними чинниками якості кінцевого продукту [1].

Особливої актуальності набуває застосування комп'ютерно-інтегрованих технологій у виробничих процесах, де традиційно переважала ручна праця. Сенсорні системи, машинний зір, приводи з числовим програмним керуванням та хмарні платформи збору і аналізу даних формують єдину інфраструктуру так званого розумного виробництва, здатного адаптуватись до змінних умов і завдань в режимі реального часу. Подібна трансформація відбувається на всіх рівнях виробничої ієрархії - від окремого технологічного вузла до цілих виробничих комплексів, інтегрованих в єдину інформаційну мережу підприємства.

Легка промисловість, незважаючи на традиційно високу частку ручної праці, також поступово переходить на рейки автоматизованого виробництва. Сучасні підприємства з пошиття одягу активно впроваджують автоматизовані розкрійні комплекси, роботизовані системи транспортування деталей між технологічними ділянками, автоматичні машини для з'єднання елементів крою та комп'ютеризовані системи контролю якості готових виробів. Це дозволяє скоротити виробничий цикл, оптимізувати витрати матеріалів та підвищити

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

конкурентоспроможність продукції на насиченому міжнародному ринку текстильних виробів.

Водночас автоматизація в галузі легкої промисловості не обмежується виключно технологічними процесами безпосереднього виготовлення продукції. Не менш важливим напрямком є автоматизація операцій з підготовки готових виробів до реалізації - складання, пакування, маркування та сортування. Саме ці процеси у більшості сучасних підприємств досі виконуються вручну, що зумовлює значні витрати часу та трудових ресурсів, особливо в умовах масового виробництва.

Серед найпоширеніших видів повсякденного одягу особливе місце посідають футболки та сорочки. Ці вироби є невід'ємною частиною гардероба переважної більшості людей незалежно від статі та віку, а їх виробництво становить значну частку загального обсягу продукції легкої промисловості в усьому світі. Великі обсяги випуску футболок і сорочок зумовлюють необхідність автоматизації не лише їх пошиття, але й подальшого складання перед пакуванням - операції, яка на сьогодні є трудомісткою і потребує значних витрат робочого часу персоналу.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи складання одягу, зокрема футболок і сорочок, що забезпечує виконання операції складання без участі оператора з заданою точністю та продуктивністю.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити структурну та функціональну схеми автоматизованої системи складання одягу;
- обґрунтувати вибір елементної бази системи - виконавчих механізмів, давачів та засобів керування;
- розробити алгоритм керування технологічним процесом складання футболок і сорочок;
- розробити принципову електричну схему підключення компонентів системи.

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ СКЛАДАННЯ ОДЯГУ

1.1 Огляд та аналіз існуючих методів складання одягу

Під час виробництва футболки його можна розділити на наступні основні етапи [2]:

- підготовка сировини;
- прядіння;
- ткацтво або в'язання;
- фарбування та оздоблення полотна;
- розкрій;
- пошиття;
- нанесення принтів або вишивки (в залежності від моделі одягу);
- волого-теплова обробка;
- контроль якості;
- складання та пакування;
- складування та відвантаження.

Етап складання готових виробів перед пакуванням є одним із ключових у загальному виробничому циклі, оскільки саме від якості виконання цієї операції залежить перше враження покупця від продукції. Акуратно і стандартно складена футболка у прозорій або картонній упаковці сприймається споживачем як свідчення загальної культури виробництва і відповідального ставлення виробника до якості. Натомість нерівномірно або недбало складений виріб навіть за умови бездоганної якості пошиття формує негативне враження і знижує конкурентоспроможність продукції на полиці магазину. Таким чином, складання є не просто технічною операцією, а елементом загальної стратегії управління якістю і формування бренду виробника [3].

З операційної точки зору ручне складання є одним із найменш продуктивних процесів на виробництві, що потребує залучення значної кількості персоналу при відносно низькій швидкості виконання. Кожен працівник витрачає

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

від 15 до 30 секунд на складання однієї одиниці продукції залежно від типу виробу та індивідуальних навичок, що при обсягах масового виробництва у тисячі одиниць на зміну перетворюється на суттєвий часовий і фінансовий тягар для підприємства. Крім того, людський фактор зумовлює варіативність результату - різні працівники складають вироби з різним ступенем акуратності, що призводить до неоднорідності товарного вигляду готової продукції в межах однієї партії.

Перехід до автоматизованого складання дозволяє підприємству вирішити одразу кілька системних проблем. Автоматизована система виконує операцію складання значно швидше за людину - залежно від конструктивного рішення стенда час складання однієї одиниці може становити від 3 до 8 секунд, що у порівнянні з ручною працею забезпечує зростання продуктивності у 3-5 разів [4]. При цьому кожен виріб складається з абсолютно ідентичним результатом незалежно від часу доби, завантаженості лінії чи інших зовнішніх чинників, що гарантує стабільну якість і стандартизований вигляд усієї партії продукції.

Економічний ефект від впровадження автоматизованого складання проявляється у скороченні фонду оплати праці на відповідній ділянці, зменшенні витрат на навчання та адаптацію нових працівників, а також у зниженні ризиків, пов'язаних із плинністю кадрів [5]. Вивільнений персонал може бути перерозподілений на ділянки, де ручна праця є справді незамінною - наприклад, на операції контролю якості або обслуговування складного обладнання. У довгостроковій перспективі автоматизація складання сприяє підвищенню загальної рентабельності виробництва і створює передумови для масштабування випуску без пропорційного збільшення чисельності персоналу.

За статистичними даними станом на 2020 рік в галузі легкої промисловості залучено до 85 тисяч осіб, а виробництво реалізованої продукції еквівалентно 3 218 млрд грн. Крім того, на території України функціонує більше 2300 підприємств легкої промисловості середнього та малого формату [6].

В Україні функціонують наступні підгалузі легкої промисловості:

— текстильна;

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- бавовняна;
- вовняна;
- лляна;
- шовкова;
- виробництво одягу;
- виробництво шкіри та взуття.

Перед розробкою автоматизованої системи складання одягу (АССО) необхідно виконати аналіз технологічного процесу складання, тобто розглянути методи складання футболок та сорочок. Ці різні методи складання супроводжуються певними складнощами та різними послідовностями виконання складання.

Існує безліч різних способів складання сорочок та футболок. Першим методом є класичне складання, який використовується здебільшого для зберігання одягу в шафах та комодах. Для цього необхідно виконати наступні дії відповідно до схеми, зображеної на рисунку 1.1 [7]:

- розкласти футболку на рівній поверхні лицьовою стороною вниз;
- скласти навпіл по вертикалі, при цьому необхідно з'єднати рукави;
- загорнути рукави на спину;
- скласти футболку навпіл знизу догори.

Метод під назвою «КонМарі», який також називається японським методом, потребує виконання наступних дії відповідно до схеми, зображеної на рисунку 1.2 [8]:

- покласти футболку на рівній поверхні лицьовою стороною догори;
- скласти кожну із сторін досередини, при цьому рукава необхідно загорнути назад;
- скласти одяг навпіл знизу догори, але необхідно при цьому передбачити невеликий проміжок;
- загорнути одяг ще раз.

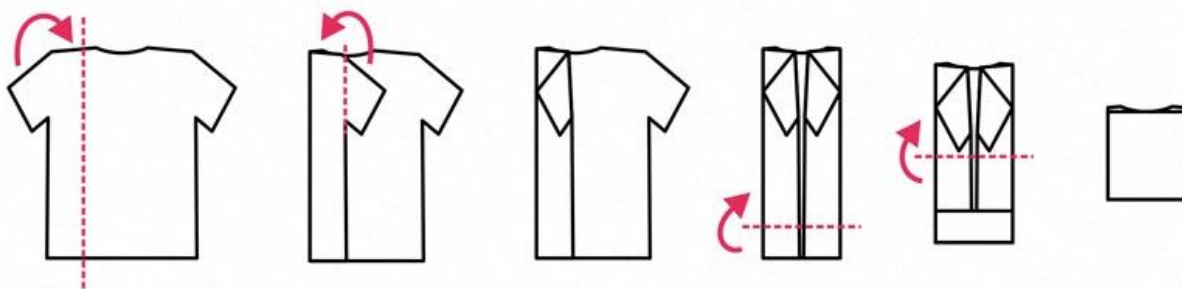


Рисунок 1.1 – Класичний метод складання



Рисунок 1.2 – Японський метод складання

Трьохточковий метод (рис. 1.3) вимагає всього до 5 секунд часу для ефективного складання:

- взяти одяг за точку на плечі та середину низу;
- скласти футболку навпіл, притиснувши плечі донизу;
- підняти одяг і швидко скласти іншу частину досередини.

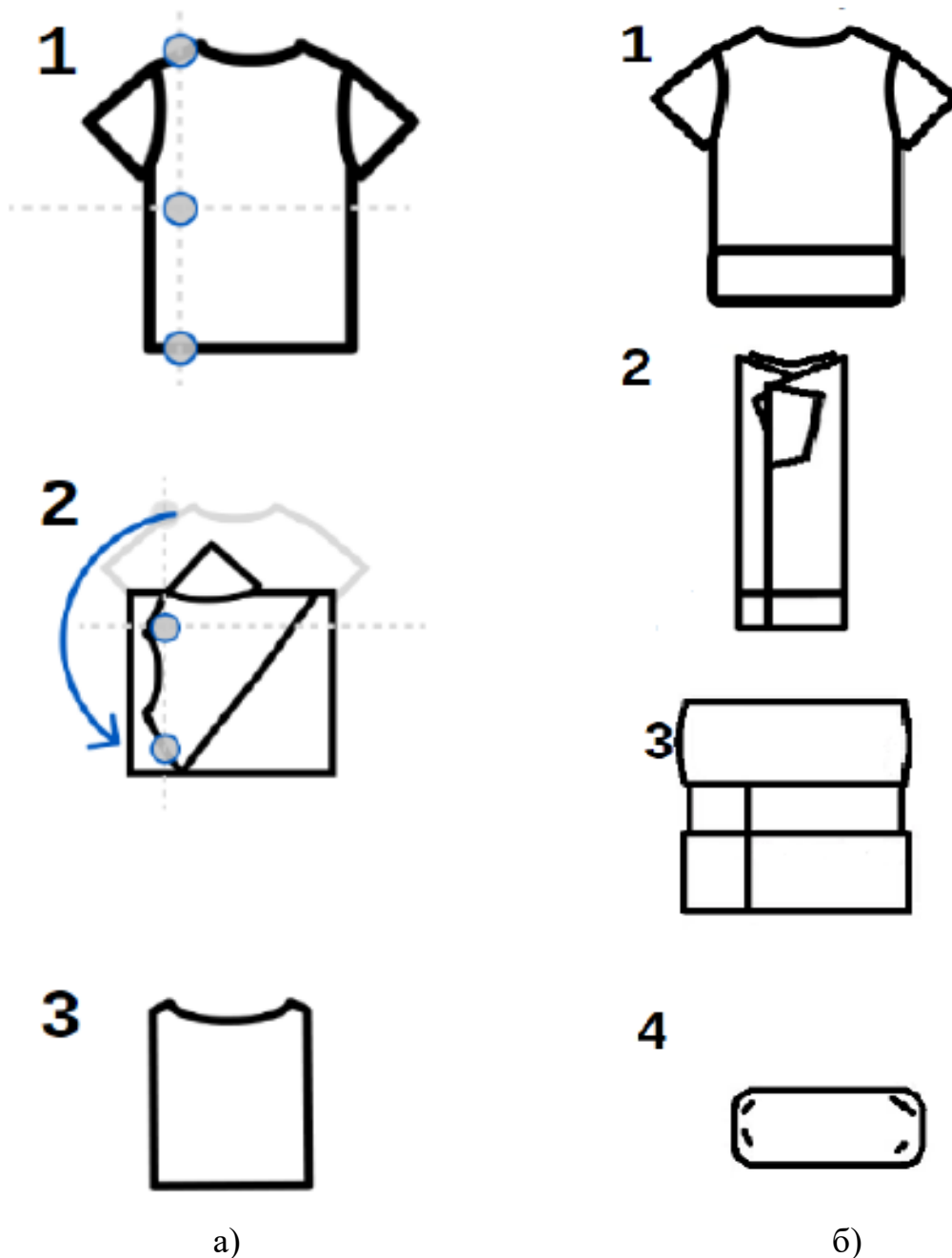


Рисунок 1.3 – Методи складання:

а - трьохточковий метод; б - військовий метод

Військовий метод згортання (рис. 1.3), який також має назву Ranger Roll утворює з речей акуратні циліндри. При згортанні одягу таким чином не утворюються складки, а також їх зручно складати у рюкзаки таким чином, щоб речі не розсипались. Для згортання одягу за цим методом необхідно [9]:

– розправити футболку на рівній поверхні;

- повернути нижній край наззовні на відстань приблизно 7-10 см;
- скласти навпіл таким чином, щоб рукава були всередині;
- згортніть футболку в рулон зверху донизу;
- внизу виверніть манжету таким чином, щоб вона повністю зафіксувала рулон.

1.2 Області застосування автоматизованої системи складання одягу та актуальність роботи

У галузі легкої промисловості, зокрема на підприємствах з масового виробництва текстильних виробів, операція складання готового одягу перед пакуванням є одним із найбільш трудомістких і часозатратних процесів. Склад продукції, що очікує на відвантаження, щоденно обробляє тисячі одиниць готових виробів, кожна з яких потребує акуратного і стандартизованого складання відповідно до вимог замовника або внутрішніх стандартів підприємства. Саме на великих швейних фабриках і виробничих комплексах з випуску повсякденного одягу - футболок, сорочок, спортивного одягу - складання вручну є вузьким місцем усього виробничого ланцюга, що стримує загальну продуктивність і збільшує собівартість кінцевої продукції [10].

Поряд із виробничою сферою, суттєвий потенціал для впровадження автоматизованих систем складання одягу мають великі роздрібні магазини та торгові мережі, які щоденно стикаються з необхідністю підтримання належного товарного вигляду продукції на полицях і у торговому залі. Після того як покупці переглядають та приміряють речі, персонал магазину витрачає значну частину робочого часу на повторне складання розгорнутих або розкладених виробів - футболок, поло, сорочок тощо.

В умовах великих торгових центрів, де товарообіг є надзвичайно інтенсивним, ця рутинна операція відволікає співробітників від безпосередньої роботи з покупцями і негативно позначається на якості обслуговування.

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Використання компактного автоматизованого стенда для складання одягу у середовищі роздрібної торгівлі відкриває низку практичних переваг, які мають пряме відображення як на операційній ефективності магазину, так і на задоволеності клієнтів [11]. По-перше, компактні габарити пристрою дозволяють розмістити його безпосередньо у торговому залі або підсобному приміщенні без необхідності виділення значних площ. По-друге, швидкість виконання операції складання автоматизованою системою суттєво перевищує ручну працю, що дозволяє оперативно відновлювати товарний вигляд викладки після активного відвідування залу покупцями. По-третє, стандартизованість складання забезпечує однаковий презентабельний вигляд кожного виробу незалежно від кваліфікації та уважності конкретного працівника, що позитивно впливає на загальне сприйняття бренду і рівень довіри покупців до торгової точки.

Після аналізу статистичних даних щодо виробництва футболок, які наявні у відкритому доступі видно, що середня кількість одиниць виробництва футболок у світі на душу населення становить 1,8 штук станом на 2018 рік. Таке ж саме значення спостерігалось і у 2019, 2022-2024 роках. У 2025 році значення піднялось до відмітки 2 штуки на одиницю населення (рис. 1.4). Прогнозується, що таке значення буде спостерігатись і у період з 2026 по 2020 роки [12].

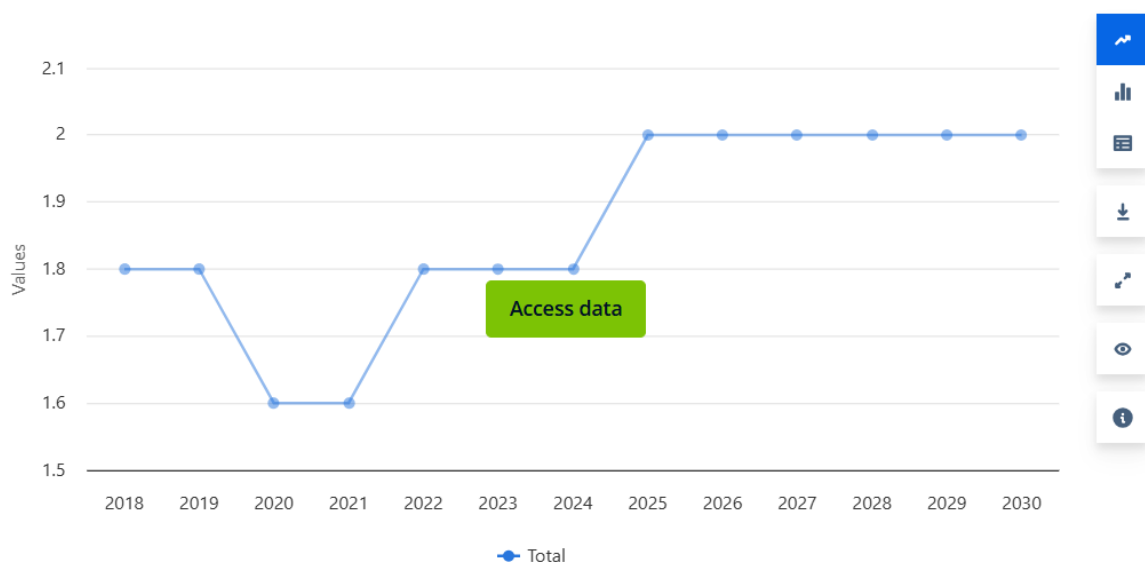
Серед виробників (рис. 1.6) лідерами є Китай, який посідає перше місце з виробництва футболок, далі Сполучені Штати Америки, Індія, Німеччина та Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії.

Якщо розглядати розподіл за світовими регіонами (рис. 1.5) [13], то частка виробництва у 2025 році, яка припадає на Азію, становить 40%, у Північній Америці частка виробництва становить 28 %. Далі слідує Європа із часткою 25%.

Станом на 2026 рік ринок виробництва футболок оцінюється у 30.68 млрд. доларів США. В той же час прогнозується зростання цього ринку до 44,81 млрд. доларів США у 2035 році.

Якщо аналізувати розподіл покупців футболок, то 58% припадає на чоловіків, 33% на жінок і 9% на дітей (рис.1.6).

Average Volume per Capita

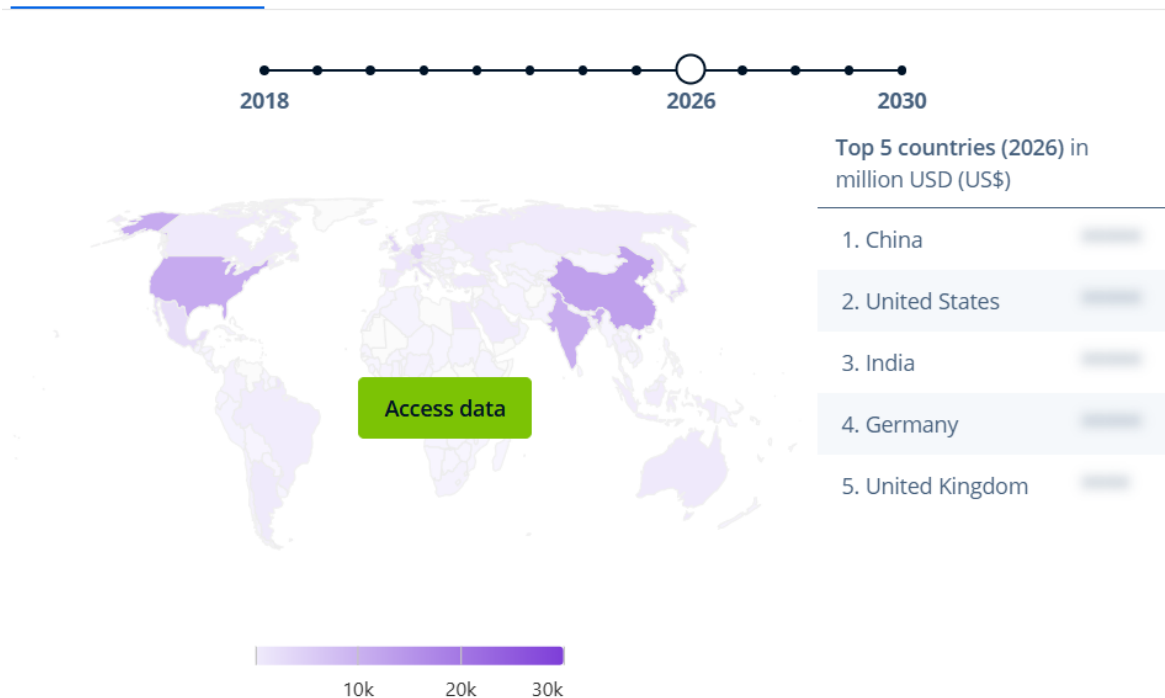


Most recent update: May 2026

Source: Statista Market Insights

Рисунок 1.4 – Статистика кількості футболок на душу населення

Revenue Comparison



Most recent update: May 2026

Source: Statista Market Insights

Рисунок 1.5 – Ключові країни-виробники футболок

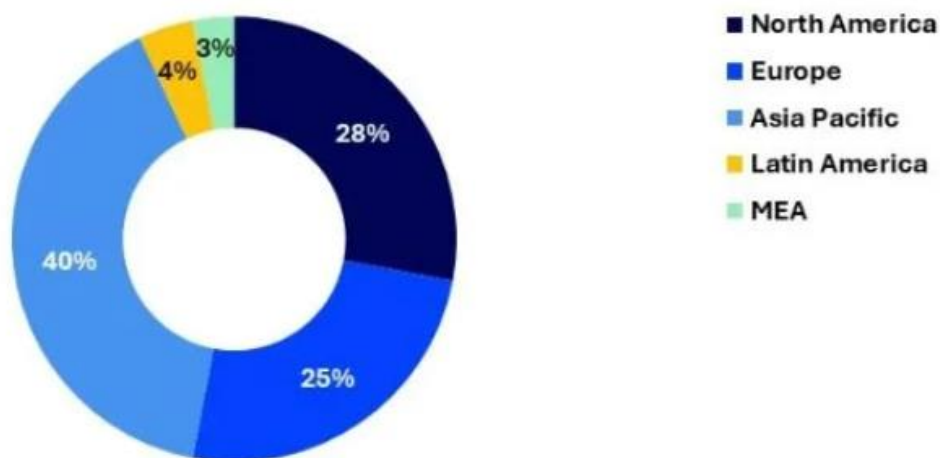


Рисунок 1.6 – Розподіл виробництва футболок за регіонами світу

Ці статистичні дані підкреслюють актуальність розробки АССО і показують, що наявна тенденція до збільшення частки такої продукції, як футболки на ринку, призведе до підвищеного попиту на спрощення процесу виробництва футболок. Оскільки складання одягу є останнім етапом виробництва перед пакуванням готової продукції, то розробка АССО має високий рівень актуальності.

Як вже згадувалось раніше, станом на 2020 рік в Україні функціонувало 2300 підприємств, які займаються виготовленням одягу. В той же час, кількість таких підприємств у 2019 році становила 1669 компаній. Тобто за рік кількість підприємств з виготовлення одягу зросла на 510 компаній.

За даними результатів досліджень [14], в 2023 році кількість виробників, які залучені в галузі легкої промисловості, зросла на 22%. Якщо розглядати окремо виробників, то їх кількість становить близько 20 тисяч, серед яких більша частка (72%) припадає на фізичних осіб підприємців. Щодо розподілу виробників одягу за регіонами, то 14% припадає на м. Київ, 13% на Харківську область, а третє місце посідає Львівська область із 8%.

Реалізація продукції легкої промисловості станом на 2020 рік складає 3218 млн. грн. [15], з яких 815 млн. грн. припадає на взуття та вироби зі шкіри, 1 169,7 млн. грн. припадає на виробництво одягу, а 1 233,4 млн. грн. припадає на текстильне виробництво.

Наведені статистичні дані переконливо свідчать про те, що галузь легкої промисловості України залишається значним сектором економіки з тисячами діючих підприємств і десятками тисяч зайнятих працівників. Водночас тенденція до скорочення обсягів виробництва, зниження частки галузі у промисловому виробництві та відтік кваліфікованих кадрів вказують на необхідність пошуку нових технологічних рішень, здатних підвищити ефективність виробничих процесів без пропорційного збільшення чисельності персоналу. В умовах, коли понад 80% підприємств легкої промисловості є малими і середніми, витрати на ручну працю при виконанні рутинних операцій - зокрема складання готової продукції - становлять непропорційно велику частку в загальній собівартості виробу.

Масштаби виробництва одягу в Україні - лише у підгалузі виробництва одягу налічувалося понад 1 600 підприємств і близько 50 тис. найманих працівників ще у 2019 році - підтверджують, що навіть незначне підвищення продуктивності на операції складання здатне дати суттєвий економічний ефект у масштабах галузі. При обсягах виробництва, що вимірюються мільярдами гривень реалізованої продукції на рік, автоматизація таких трудомістких допоміжних операцій є не лише доцільною, а й економічно обґрунтованою інвестицією. Розробка компактного автоматизованого стенда для складання футболок і сорочок є практичним кроком у напрямку підвищення конкурентоспроможності вітчизняних виробників одягу в умовах зростаючого тиску з боку імпорту - насамперед із Китаю (34% загального імпорту галузі) та Туреччини (17%).

Таким чином, поєднання кількісних показників галузі - тисячі підприємств, десятки тисяч найманих працівників, мільярди гривень реалізованої продукції - з якісними тенденціями до скорочення персоналу і зниження частки ручної праці

формує очевидну потребу в автоматизованих рішеннях для виконання рутинних операцій. Саме тому розробка автоматизованої системи складання одягу є актуальним науково-технічним завданням, що відповідає реальним потребам сучасного виробництва у галузі легкої промисловості.

Сфера застосування автоматизованих систем складання одягу не обмежується виключно виробничими підприємствами - щонайменше такою ж гострою є потреба у подібних рішеннях у великих роздрібних магазинах та мережах продажу одягу. Великі торгові об'єкти щоденно обробляють сотні і тисячі одиниць продукції, значна частина якої після перегляду або примірки покупцями потребує повторного складання для повернення на полицю у товарному вигляді. У великих мережах, де в одному магазині одночасно представлено кілька тисяч найменувань продукції, витрати часу персоналу на цю операцію є суттєвими і безпосередньо впливають на операційні витрати торгової точки.

Серед найбільших фізичних мереж роздрібної торгівлі одягом, у яких футболки і сорочки є ключовими категоріями товарів, можна виділити такі приклади. H&M - шведська мережа, що представлена у десятках країн і реалізує значні обсяги базового одягу, зокрема футболок усіх цінових категорій. Zara (група Inditex) - іспанська мережа з надзвичайно інтенсивним товарообігом завдяки концепції «швидкої моди», де швидкість відновлення товарного вигляду полиць є критичним операційним показником. Uniqlo - японська мережа, яка спеціалізується саме на базовому одязі (зокрема відомих футболок серії UT), де стандартизованість складання є частиною корпоративних стандартів викладки.

У сегменті онлайн-торгівлі футболки є одним з найбільш популярних товарів на таких платформах, де щороку реалізуються десятки мільйонів одиниць цієї категорії, наприклад Rozetka і Prom.ua.

Для онлайн-маркетплейсів та фулфілмент-центрів, де замовлення збираються і відправляються покупцям, автоматизоване складання одягу набуває особливого значення, оскільки там обсяги обробки товарів є значно вищими, ніж

у звичайному роздрібному магазині. Так, на фулфілмент-складах Amazon у пікові сезони (наприклад, у період розпродажів типу Чорна п'ятниця) щоденно обробляються мільйони одиниць одягу, і кожна з них потребує акуратного складання перед пакуванням у відправлення. Впровадження компактних автоматизованих стендів для складання футболок і сорочок у подібних середовищах здатне суттєво прискорити обробку замовлень, знизити частку ручної праці та забезпечити однаковий стандарт складання кожного відправлення незалежно від завантаженості персоналу, що в кінцевому підсумку позитивно позначається на задоволеності покупців і репутації торгової платформи.

1.3 Методологія проведення дослідження

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи та вирішення поставлених задач використовується комплекс взаємопов'язаних методів наукового дослідження, які охоплюють теоретичну, конструкторську та експериментально-модельну складові роботи.

Метод аналізу та синтезу застосовується у першому розділі при огляді існуючих підходів до складання одягу - як ручних, так і автоматизованих. Аналіз дозволяє виявити переваги і недоліки кожного з розглянутих рішень, а синтез - сформулювати вимоги до власної розробки з урахуванням встановлених обмежень щодо габаритів, функціональності та вартості системи [16].

Метод порівняльного аналізу використовується при підборі обладнання для автоматизованої системи у другому розділі - зокрема при виборі типу мікроконтролера, сервоприводу та датчика з-поміж кількох альтернативних варіантів. Порівняння здійснюється за технічними характеристиками, вартістю, доступністю та відповідністю вимогам конструкції стенда.

Метод математичного моделювання застосовується при дослідженні кінематики руху механізмів автоматизованої системи складання одягу у підрозділі 3.1. Математична модель руху робочих органів стенда дозволяє

розрахувати кутові переміщення, швидкості та моменти, необхідні для виконання операції складання, що є основою для правильного підбору параметрів сервоприводів та алгоритму керування.

Метод комп'ютерного моделювання використовується у підрозділі 3.4 для перевірки коректності розроблених технічних рішень до етапу фізичного виготовлення прототипу. Програмна симуляція роботи системи дозволяє виявити потенційні конструктивні або алгоритмічні помилки на ранньому етапі і скоригувати відповідні рішення без витрат на переробку фізичних компонентів.

Метод алгоритмізації та програмування застосовується у підрозділі 3.3 при розробці програмного забезпечення мікроконтролера. Розробка алгоритму керування здійснюється із застосуванням структурного підходу - декомпозиції загального процесу складання на елементарні керуючі кроки з визначенням умов переходу між ними, що забезпечує прозорість логіки роботи системи і спрощує її подальше налагодження [17].

Метод схемотехнічного проектування використовується при розробці електричної схеми у підрозділі 3.2. Проектування принципової електричної схеми підключення компонентів системи здійснюється з дотриманням вимог до захисту мікроконтролера від перевантажень, забезпечення стабільності живлення силових виконавчих пристроїв та надійності передачі керуючих сигналів між елементами схеми.

Метод фізичного експерименту застосовується на завершальному етапі дослідження при практичній перевірці роботи розробленого прототипу автоматизованої системи. Експериментальна перевірка передбачає багаторазове відтворення циклу складання одягу з фіксацією часових параметрів, якості результату складання та стабільності роботи системи, що дозволяє підтвердити або спростувати гіпотезу про ефективність запропонованого технічного рішення.

На етапі створення прототипу необхідно виконати кілька кроків. Ці кроки стосуються основного механізму та послідовності складання, розмірів і ваги

різних частин пристрою для складання, а також способів ефективного переміщення дошок для складання.

Для виконання цих кроків потрібні такі компоненти та матеріали: плата мікроконтролера для керування різними компонентами конструкції, сервомотори для забезпечення потрібного обертання дошок, що дозволяє точно скласти сорочки, та датчики виявлення об'єктів для визначення типу сорочки, що була покладена на складач. Усі інші компоненти, такі як дошки для складання, шарніри, вали та муфти валів, будуть або спроектовані в CAD-програмі Solid Edge та надруковані на 3D-принтері, або замовлені у стороннього виробника, або вирізані лазером з листів акрилу (плексигласу). Використовувані матеріали повинні витримувати протидіючі сили, що створюються двигунами, і водночас бути достатньо легкими, щоб двигуни могли з ними впоратися. Послідовність складання та вхідні дані датчиків будуть запрограмовані на C++ в Arduino IDE.

1.4 Висновки до першого розділу

В першому розділі було виконано огляд та аналіз існуючих методів складання одягу, а саме футболок та сорочок, які дозволили виокреслити основні характеристики автоматизованої системи складання одягу в розрізі того, які саме рухи вона повинна виконувати при складанні футболок.

Також було проведено статистичний аналіз розвитку галузі легкої промисловості як в рамках світу, так і в рамках України. За результатами аналізу встановлено, що спостерігається тенденція до розвитку галузі легкої промисловості, що підкреслює актуальність розробки автоматизованої системи для останнього етапу виготовлення одягу, а саме складання та пакування. Також в розділі наведено методологію, за якою буде проводитись дослідження в рамках написання кваліфікаційної роботи бакалавра.

2 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДАННЯ ОДЯГУ

2.1 Мікроконтролер

Мікроконтролер являє собою інтегровану мікросхему, яка поєднує в єдиному корпусі процесорне ядро, оперативну та постійну пам'ять, а також набір периферійних модулів для взаємодії із зовнішніми пристроями [18]. На відміну від універсального мікропроцесора, який потребує окремих мікросхем пам'яті та контролерів введення-виведення, мікроконтролер є самодостатнім обчислювальним вузлом, здатним виконувати заздалегідь записану програму без підключення додаткових компонентів. Така архітектурна компактність зумовлює широке застосування мікроконтролерів у вбудованих системах, де простір, маса та енергоспоживання є критичними параметрами проектування [19].

До ключових функцій мікроконтролера належать: зчитування сигналів із датчиків через аналогові та цифрові входи, формування керуючих сигналів на виходах для управління виконавчими пристроями, обробка даних відповідно до закладеного алгоритму, а також організація обміну інформацією із зовнішніми пристроями через інтерфейси зв'язку [20]. Більшість сучасних мікроконтролерів підтримують широтно-імпульсну модуляцію для плавного регулювання швидкості двигунів та яскравості освітлення, апаратні таймери і лічильники для точного відліку часових інтервалів, а також вбудований аналогово-цифровий перетворювач для опрацювання аналогових сигналів датчиків. Сукупність цих функцій робить мікроконтролер універсальним керуючим ядром для широкого класу автоматизованих пристроїв.

В автоматизованих системах мікроконтролер виконує роль центрального координатора, який об'єднує всі компоненти системи в єдиний керований комплекс. Він отримує інформацію від датчиків про поточний стан об'єкта керування, порівнює її із заданими параметрами, приймає рішення згідно з алгоритмом і формує відповідні команди для виконавчих механізмів - двигунів,

клапанів, реле, сервоприводів [21]. Завдяки можливості програмного перенастроювання один і той самий апаратний модуль на основі мікроконтролера може реалізовувати принципово різні алгоритми керування без зміни схемотехніки, що суттєво скорочує час і витрати на розробку нових версій автоматизованої системи.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр мікроконтролерних платформ, кожна з яких орієнтована на певний клас задач. Серія AVR від Microchip (колишній Atmel) - зокрема ATmega328P та ATmega2560 - відзначається простотою програмування і низьким енергоспоживанням, що робить її популярною у навчальних і аматорських проектах. Мікроконтролери STM32 на базі ядра ARM Cortex-M від STMicroelectronics мають значно вищу тактову частоту (до 480 МГц у топових моделях), розвинену периферію і застосовуються у промислових системах керування та пристроях з підвищеними вимогами до продуктивності. Сімейство PIC від Microchip традиційно використовується у вбудованих системах з жорсткими вимогами до надійності та стабільності, а ESP32 від Espressif Systems поєднує достатню обчислювальну потужність із вбудованими модулями Wi-Fi і Bluetooth, що робить його базовою платформою для пристроїв Інтернету речей. Принципова відмінність між цими сімействами полягає у розрядності ядра, тактовій частоті, обсязі пам'яті, наборі периферійних інтерфейсів та рівні енергоспоживання, що і визначає доцільність вибору конкретної платформи для тієї чи іншої задачі [22].

Мікроконтролерні плати серії Arduino здобули надзвичайно широку популярність завдяки поєднанню кількох ключових факторів, які разом сформували унікальну екосистему розробки [23]. По-перше, відкрита апаратна і програмна архітектура платформи дозволяє будь-якому розробнику вільно використовувати, модифікувати і відтворювати як схемотехніку плат, так і середовище програмування. По-друге, власне інтегроване середовище розробки Arduino IDE відрізняється простотою інтерфейсу і не потребує глибоких знань з електроніки чи програмування для написання перших програм, що суттєво знижує

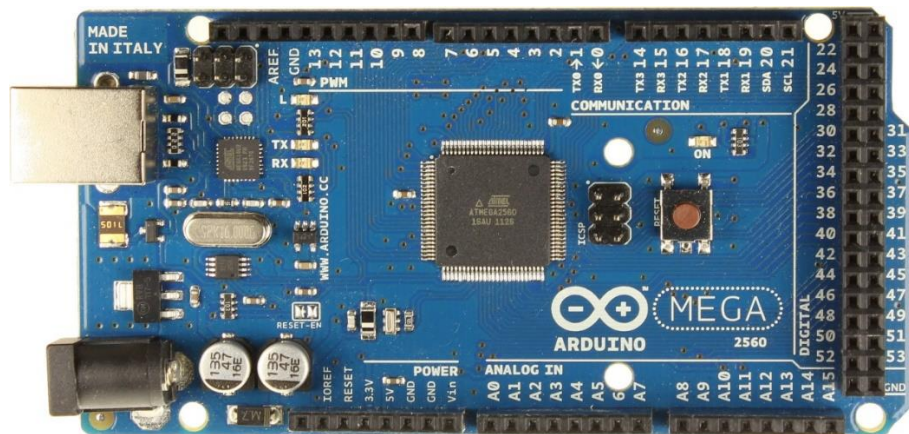
пори́г входження для початківців. По-третє, за роки існування платформи навколо неї сформувалася велика спільнота розробників, яка створила тисячі готових бібліотек для роботи з різноманітними давачами, дисплеями, модулями зв'язку та виконавчими пристроями, що дозволяє значно прискорити розробку нових пристроїв за рахунок повторного використання перевіреного коду. Зазначені переваги зробили Arduino фактично стандартною платформою для прототипування автоматизованих систем у навчальних, дослідницьких і аматорських проектах в усьому світі [24].

Зазвичай мікроконтролер складається з невеликого центрального процесора (CPU), оперативної пам'яті (RAM), постійної пам'яті (ROM), лічильників, таймерів, різних типів цифрових портів вводу-виводу (I/O) та аналогових портів.

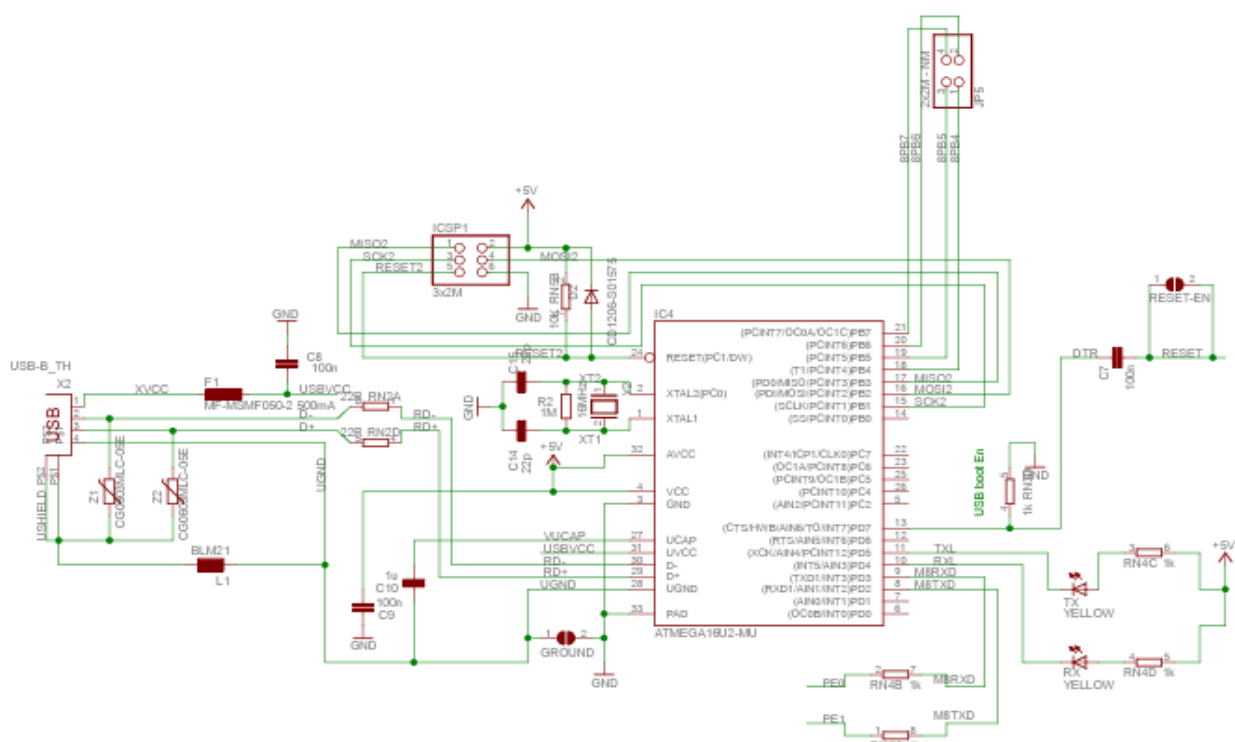
В якості мікроконтролера для АССО було обрано модель Arduino Mega 2560, яка показана на рисунку 2.1, а його характеристики наведені у таблиці 2.1 [25].

Таблиця 2.1 – Характеристики мікроконтролера [25]

Характеристика	Значення
Напруга живлення, В	7-12
Кількість цифрових входів/виходів, шт.	54 (з них 15 ШІМ)
Тактова частота, МГц	16
Кількість аналогових входів, шт.	16
Робоча напруга, В	5
Пам'ять, кБ	
SRAM	8
Flash	256
EEPROM	4
Максимальний струм одного виходу, мА	40



а)



б)

Рисунок 2.1 - Arduino Mega 2560

а – зовнішній вигляд; б – схема виходів

Arduino Mega 2560 вирізняється серед інших представників родини Arduino насамперед значно розширеним набором виводів введення-виведення та збільшеним обсягом пам'яті мікроконтролера ATmega2560, на якому побудована

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Арк.
24

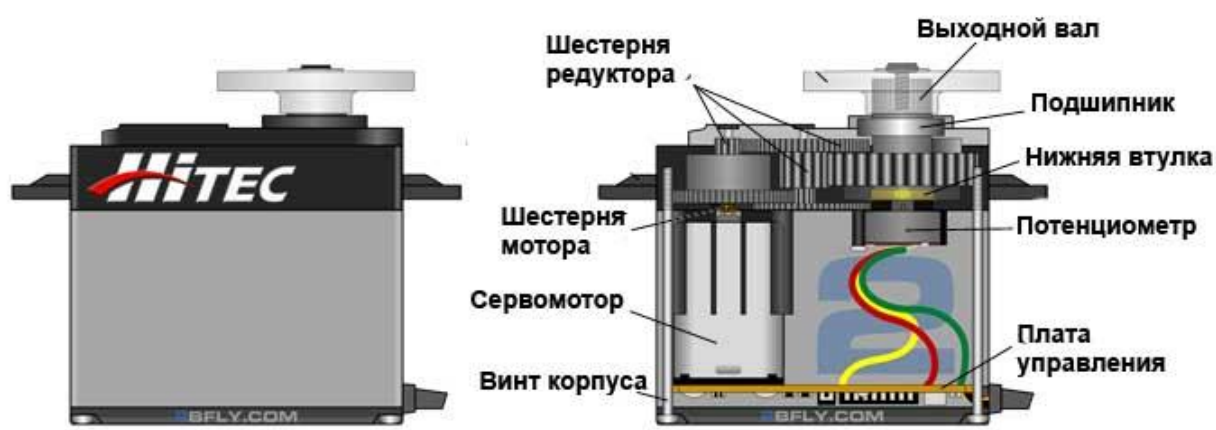
ця плата. Якщо базова модель Arduino Uno пропонує лише 14 цифрових і 6 аналогових виводів, то Mega 2560 надає розробнику 54 цифрових виводи (з яких 15 підтримують широтно-імпульсну модуляцію) та 16 аналогових входів, що у сукупності дозволяє підключати значно більшу кількість датчиків і виконавчих пристроїв без застосування додаткових мультиплексорів або розширювачів портів. Обсяг флеш-пам'яті для зберігання програми становить 256 кБайт - у порівнянні з 32 кБайт в Uno, тобто у вісім разів більше, - а оперативна пам'ять SRAM складає 8 кБайт проти 2 кБайт, що є принциповою перевагою при роботі з великими масивами даних або складними алгоритмами керування.

Ще однією суттєвою відмінністю Arduino Mega 2560 від компактніших моделей серії є наявність чотирьох апаратних послідовних портів UART, тоді як Arduino Uno та Arduino Nano мають лише один такий порт. Це дозволяє одночасно організовувати незалежний обмін даними з кількома периферійними пристроями - наприклад, із модулем Bluetooth, GPS-приймачем та зовнішнім дисплеєм без необхідності програмної емуляції додаткових інтерфейсів. Тактова частота мікроконтролера ATmega2560 становить 16 МГц і є такою ж, як в Uno та Nano, тобто за швидкістю плата не відрізняється від молодших моделей, проте завдяки розширеній периферії і більшому обсягу пам'яті Arduino Mega 2560 є оптимальним вибором саме для складних багатоканальних систем автоматизації, де одночасно задіяна значна кількість компонентів - датчиків, приводів та інтерфейсів зв'язку [26].

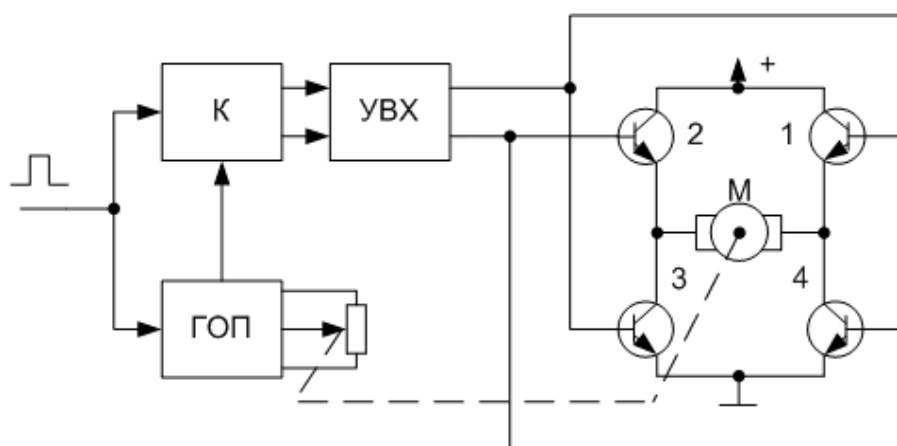
2.2 Сервопривід

Сервопривід (рис. 2.2) являє собою електромеханічний пристрій, який забезпечує точне керування кутовим або лінійним переміщенням вихідного валу на підставі керуючого сигналу від зовнішньої системи управління. На відміну від звичайного електродвигуна, який просто обертається при подачі напруги, сервопривід містить вбудовану систему зворотного зв'язку - як правило,

потенціометр або енкодер - що дозволяє йому відстежувати поточне положення вихідного валу і автоматично коригувати рух для досягнення заданої позиції [27]. Конструктивно сервопривід поєднує в єдиному корпусі електродвигун постійного струму або безколекторний двигун, редуктор для збільшення крутного моменту та електронну плату керування, що обробляє вхідний сигнал і замикає контур регулювання положення.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Сервопривід

а – конструкція; б – електрична схема

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Арк.
26

У загальному розумінні сервопривід виконує функцію точного позиціонування механічного навантаження у заданій точці простору або забезпечення відтворюваного переміщення на визначений кут чи відстань. Саме ця властивість - здатність не просто обертатися, а займати конкретне положення і утримувати його при зовнішньому навантаженні - визначає основну сферу застосування сервоприводів: моделі літаків і автомобілів з радіокеруванням, робототехнічні маніпулятори, механізми наведення камер і антен, системи керування кермом і гальмами в автомобілях, а також промислові верстати з числовим програмним керуванням. Крутний момент і кут повороту є двома ключовими характеристиками, за якими підбирається сервопривід для конкретного застосування [28].

В автоматизованих системах сервоприводи виступають виконавчими механізмами, які перетворюють електричний керуючий сигнал від мікроконтролера або промислового контролера на точний механічний рух робочого органу. Мікроконтролер формує керуючий сигнал у форматі широтно-імпульсної модуляції, де тривалість імпульсу кодує цільовий кут повороту валу - наприклад, імпульс тривалістю 1 мс відповідає положенню 0° , а 2 мс - положенню 180° . Завдяки вбудованому зворотному зв'язку сервопривід самостійно відпрацьовує задану позицію і утримує її при змінному навантаженні, що звільняє мікроконтролер від необхідності безперервно контролювати поточне положення і суттєво спрощує логіку керуючої програми [29].

Серед найпоширеніших моделей сервоприводів, що застосовуються у навчальних і дослідницьких проектах, слід виділити кілька характерних представників з різними експлуатаційними властивостями. Сервопривід SG90 є одним із найлегших і найдешевших у своєму класі - він важить близько 9 г, розвиває крутний момент до $1,8 \text{ кг}\cdot\text{см}$ і має пластиковий редуктор, що робить його придатним лише для застосувань з невеликим навантаженням. MG996R відрізняється від SG90 металевим редуктором і значно вищим крутним моментом - до $13 \text{ кг}\cdot\text{см}$, - що забезпечує надійнішу роботу при суттєвих механічних

навантаженнях. Промисловий сервопривід Dynamixel AX-12A від компанії ROBOTIS є принципово іншим класом пристроїв - він має цифровий інтерфейс зв'язку, вбудований енкодер з роздільною здатністю $0,29^\circ$ на крок і здатний повертатися на 360° у режимі безперервного обертання, що робить його стандартним компонентом у дослідницькій робототехніці. Принципова відмінність між аматорськими і промисловими сервоприводами полягає у точності позиціонування, довговічності механічної частини, способі передачі керуючого сигналу та наявності зворотного зв'язку за моментом і температурою, що визначає доцільність вибору конкретної моделі залежно від вимог проекту.

В АССО передбачається використання двох різних моделей сервоприводів – MG996R [30] та DS3225 [31] (рис. 2.3). Характеристики сервоприводів наведені у таблицях 2.2 та 2.3 відповідно.

Таблиця 2.2 – Характеристики сервоприводу MG996R [30]

Характеристика	Значення
Вага, г	55
Кут, $^\circ$	360
Швидкість, с/60 град.	0,2
Зусилля, кг/см	10
Робоча температура, $^\circ\text{C}$	0 – 55
Робоча напруга, В	4,8 – 7,2
Роз'єм	JR
Розміри, мм	40,7 x 19,7 x 42,9
Шлиц, зубів	25
Вартість, грн	195

Сервопривід MG996R – це вдосконалена версія попередньої моделі, в якій було виконано перепроєктування друкованої плати та системи керування, в результаті чого ця модель отримала більшу точність.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Сервоприводи

а – MG996R; б – DS3225

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Арк.
29

Таблиця 2.3 – Характеристики сервоприводу DS3225 [31]

Характеристика	Значення
Вага, г	60
Кут, °	360
Розміри, мм	40 x 20 x 38,5
Пусковий момент, кс · см	18 – 21,3
Матеріал шестерень	Метал
Робоча частота, Гц	50 – 333
Робоча напруга, В	4,8 – 6,8
Споживаний струм, А	0,5 – 0,9
Нейтральне положення, usec	1500
Діапазон ширини імпульсу, usec	500 – 2500
Струм холостого ходу, мА	5
Робоча температура, °С	-30 ... +60
Вартість, грн	587

Сервоприводу моделі DS3225 характерні менший рівень шуму, також в ньому наявний подвійний підшипник, металевий редуктор більш міцний, ніж в інших моделях, а також має програмований цифровий підсилювач.

Для АССО передбачається використання шести сервоприводів моделі Towerpro MG996R та двох сервоприводів моделі DS3225, вантажопідйомність яких складає 25 кг. Передбачається, що сервоприводи MG996R будуть використані для приведення в дію закрилків АССО, а саме нижньої, вертикальних та середніх, а сервоприводи DS3225 будуть використані для приведення в рух бічних закрилків АССО.

Для більш коректного розміщення сервоприводів в АССО було передбачено їх окреме кріплення за допомогою відповідної деталі для закріплення (рис. 2.4). Ця деталь для кріплення буде надрукована із пластику на 3D-принтері.

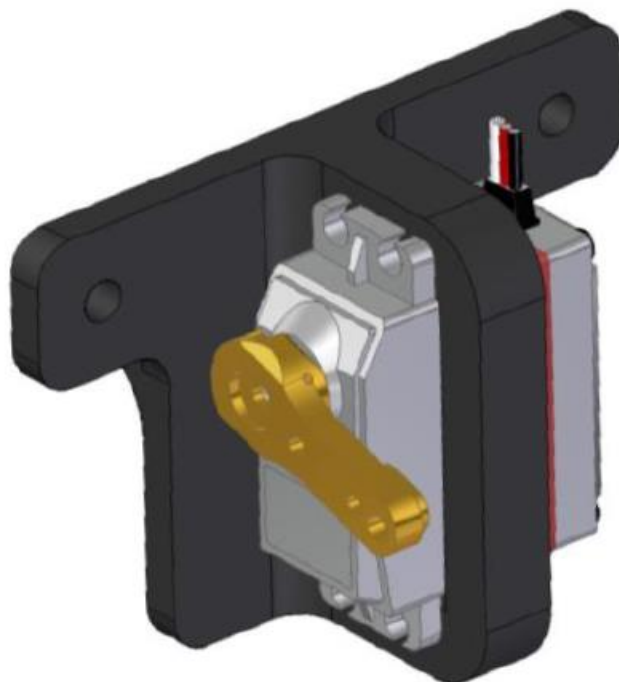


Рисунок 2.4 – Модель деталі для кріплення сервоприводів в АССО

2.3 Понижуючий трансформатор

Понижуючий трансформатор — це неізований перетворювач постійного струму, який перетворює вхідну напругу на певну нижчу вихідну напругу. Він складається з керованого перемикача, індуктора, конденсатора, діода, схеми керування та потенціометра для налаштування вихідної напруги (рис. 2.5). Потужність на вході регулюється шляхом періодичного вмикання та вимикання перемикача з високою частотою. Коли перемикач увімкнено, струм у ланцюзі збільшується, і в індукторі, який накопичує енергію, створюється магнітне поле. Струм також протікає через конденсатор, який повільно заряджається. Оскільки струм все ще змінюється, напруга на конденсаторі нижча за вхідну напругу, і це значення напруги дорівнює вихідній напрузі. Коли перемикач вимкнено, індуктор діє як джерело струму, і цей цикл повторюється [32].

Зовнішній стабілізатор напруги, наприклад понижуючий перетворювач, доречно використовувати, коли певні компоненти в електричному ланцюзі потребують напруги, нижчої за вхідну напругу, що подається. Вхідна напруга

зазвичай подається від зовнішнього джерела живлення, яке можна підключити до загальної мережі живлення 220 В.

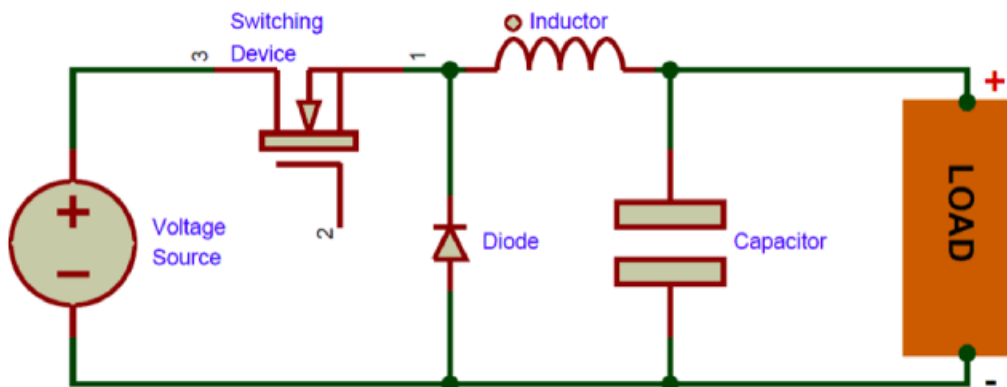


Рисунок 2.5 – Типова електрична схема понижуючого трансформатора

Для АССО було обрано понижуючий трансформатор, який показано на рисунку 2.6, а його характеристики наведені в таблиці 2.4 [33]. Цій моделі характерні висока надійність, компактність розмірів та простота використання.



Рисунок 2.6 – Понижуючий трансформатор

Таблиця 2.4 – Характеристики трансформатору [33]

Характеристика	Значення
Розміри, мм	30 x 24 x 20
Вихідний струм, мА	700-800
Вхідна напруга, В	220
ККД, %	більше 80
Захисти	
від перевантаження	Так
від короткого замикання	Так
Вихідна напруга, В	5
Потужність, Вт	3,5
Вартість, грн	75

2.4 Датчики

Датчик являє собою первинний вимірювальний перетворювач, який сприймає певну фізичну величину - температуру, тиск, переміщення, освітленість, вологість, швидкість та інші параметри навколишнього середовища або технологічного процесу - і перетворює її на електричний сигнал, придатний для подальшої обробки системою керування. В автоматизованих системах датчики виконують роль органів чуття, завдяки яким мікроконтролер або промисловий контролер отримує об'єктивну інформацію про поточний стан об'єкта керування і може приймати рішення відповідно до закладеного алгоритму. Без датчиків система керування є фактично сліпою - вона нездатна реагувати на зміни у зовнішньому середовищі, відстежувати відхилення технологічних параметрів від заданих значень або своєчасно виявляти аварійні ситуації, що унеможлиблює реалізацію будь-якого замкненого контуру автоматичного регулювання [34].

Сучасна номенклатура датчиків є надзвичайно різноманітною і охоплює пристрої для вимірювання практично будь-яких фізичних і хімічних величин. За

принципом вимірюваної величини розрізняють датчики переміщення і положення (енкодери, потенціометри, кінцеві вимикачі), датчики відстані (ультразвукові, інфрачервоні, лазерні), датчики температури (термопары, терморезистори, інтегральні мікросхеми типу DS18B20), датчики тиску і сили (тензодавачі, п'єзоелектричні датчики), датчики освітленості (фоторезистори, фотодіоди), датчики вологості, датчики газів і хімічних речовин, а також інерційні вимірювальні пристрої - акселерометри і гіроскопи. За характером вихідного сигналу датчики поділяють на аналогові, що формують неперервний сигнал напруги або струму пропорційно до вимірюваної величини, та цифрові, що передають результат вимірювання у вигляді дискретного коду через інтерфейси I2C, SPI або UART [35]. Правильний вибір типу датчика для конкретного застосування є одним із ключових рішень при проектуванні автоматизованої системи, оскільки від точності, швидкодії та надійності первинного вимірювального перетворювача безпосередньо залежить якість функціонування всієї системи керування [36].

Ультразвуковий датчик являє собою електронний вимірювальний пристрій, принцип дії якого ґрунтується на випромінюванні коротких імпульсів ультразвукових хвиль та реєстрації відбитого від перешкоди сигналу. Відстань до об'єкта визначається шляхом вимірювання часового інтервалу між моментом випромінювання імпульсу і моментом прийому його відбиття, помноженого на швидкість розповсюдження звуку в повітрі (приблизно 343 м/с), із подальшим діленням результату навпіл. Конструктивно датчик містить два п'єзоелектричні елементи - випромінювач і приймач, - які можуть бути виконані як в окремих корпусах, так і в єдиному модулі, а вся первинна обробка сигналу здійснюється вбудованою електронною схемою, що значно спрощує підключення датчика до мікроконтролера [37].

Ультразвукові датчики знаходять застосування у надзвичайно широкому колі галузей і пристроїв завдяки своїй здатності вимірювати відстань без фізичного контакту з об'єктом. У промисловій автоматизації вони

використовуються для контролю рівня рідини в резервуарах, виявлення наявності деталей на конвеєрі та позиціонування рухомих механізмів. В робототехніці ультразвукові датчики забезпечують навігацію автономних платформ і запобігання зіткненням із перешкодами. У побутовій техніці вони застосовуються у системах паркування автомобілів для виявлення перешкод позаду транспортного засобу. Крім того, ультразвукові датчики широко використовуються у медичній діагностиці, системах охорони периметра, пристроях для вимірювання відстані у будівництві та у системах автоматичних дверей у громадських будівлях.

Серед ключових переваг ультразвукових датчиків порівняно з іншими типами давачів відстані і присутності слід виділити кілька принципових характеристик. По-перше, ультразвукові датчики є нечутливими до кольору, прозорості та освітленості об'єкта, що вигідно відрізняє їх від оптичних і інфрачервоних давачів, які можуть давати хибні спрацьовування на темних або прозорих поверхнях. По-друге, вони не потребують прямого контакту з вимірюваним об'єктом і здатні надійно виявляти як тверді предмети, так і рідини та сипучі матеріали. По-третє, доступні моделі - зокрема широко розповсюджений модуль HC-SR04 - мають невисоку вартість, просте підключення до мікроконтролера і достатню для більшості задач точність вимірювання відстані в діапазоні від 2 см до 4 м з похибкою близько 3 мм. Нарешті, ультразвукові датчики є стійкими до забруднення і придатними для роботи в різних умовах навколишнього середовища, де оптичні системи можуть виявитися ненадійними.

В автоматизованій системі складання футболок і сорочок ультразвуковий датчик виконує функцію первинного детектора наявності виробу на робочій поверхні станда, що є необхідною умовою для коректного запуску циклу складання. До початку руху механічних елементів системи мікроконтролер зчитує показання датчика і перевіряє, чи розміщено одяг у заданій зоні укладання - якщо відстань від датчика до поверхні відповідає заздалегідь визначеному пороговому значенню, система розцінює це як присутність виробу і дозволяє подальше

виконання алгоритму. Це запобігає холостому спрацюванню сервоприводів у відсутності одягу на стенді, що могло б призвести до механічних пошкоджень конструкції або некоректного завершення циклу. Крім того, датчик може використовуватись для контролю правильності розташування виробу перед початком складання - якщо одяг зміщений відносно центральної осі стенда, показання датчика дозволяють мікроконтролеру сформувати сигнал про необхідність корекції положення або зупинити цикл і повідомити оператора про некоректне розміщення виробу.

Принцип роботи ультразвукового датчику наведений на рисунку 2.7.

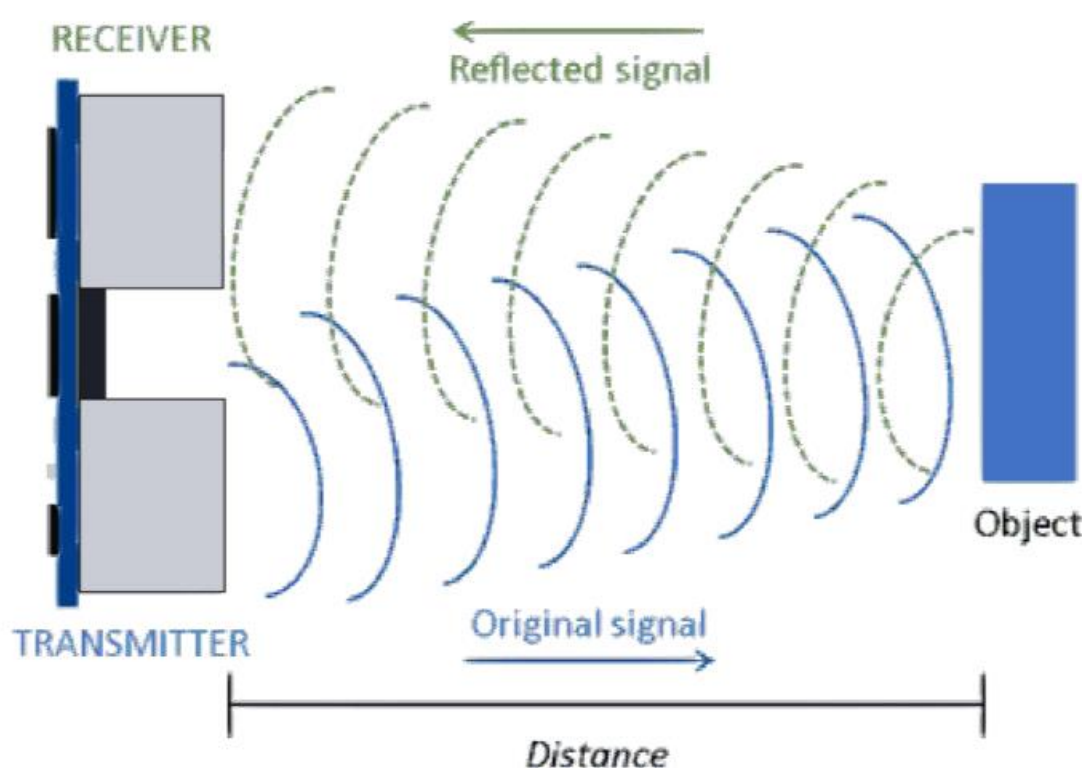


Рисунок 2.7 – Принцип роботи ультразвукового датчику

В якості ультразвукового датчику для АССО було обрано HC-SR04 (рис. 2.8), характеристики якого наведені у таблиці 2.5. Цей датчик представляє собою точний та стабільний датчик відстані без сліпих зон [38].

Для АССО необхідно встановити два таких датчика. Вони будуть встановлюватись на спеціально розроблених кріпленнях (рис. 2.9). Коли обидва

ультразвукові датчики закриті рукавами сорочки з довгими рукавами, машина запускає послідовність складання для сорочок з довгими рукавами. І навпаки, коли на машину кладуть футболку, вона не закриває обидва датчики, тому запускається послідовність складання для футболки. Ультразвукові датчики в цьому випадку використовуються для виявлення об'єкта, а не для визначення відстані до об'єкта.



Рисунок 2.8 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Таблиця 2.5 – Характеристики HC-SR04 [38]

Характеристика	Значення
Розміри, мм	37 x 20 x 15
Струм, мА	8
Ширина імпульсів, мкс	10
Робоча напруга, В	3,8 – 5,5
Мінімальна дистанція, см	0
Максимальна дистанція, мм	1500
Частота, кГц	40
Роздільна здатність, мм	3
Вартість, грн	49

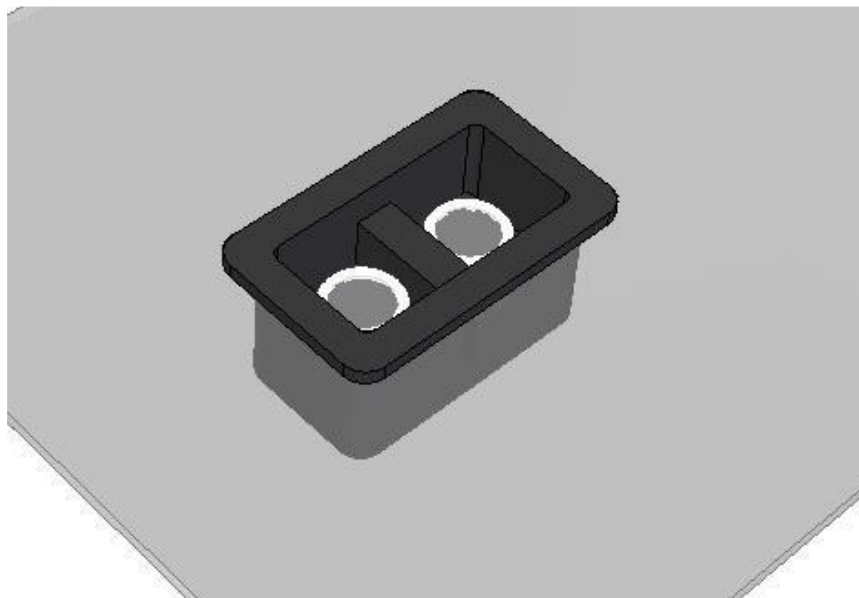


Рисунок 2.9 – Модель кріплення датчику до АССО

Ультразвуковий датчик в АССО буде використовуватись для відслідковування того, чи наявна на АССО футболка, чи сорочка. В той же час, варто передбачити датчик, який би відслідковував власне наявність будь-якого об'єкта на АССО.

Для цього передбачається використання тензодатчику високоточного, який наведено на рисунку 2.10, а характеристики наведені в таблиці 2.6 [39].



Рисунок 2.10 – Тензодатчик високоточний

Таблиця 2.6 – Характеристики тензодатчику [39]

Характеристика	Значення
Розміри, мм	80 x 12,7 x 12,7
Імпеданс, Ω	1000 $\pm$ 50
Максимальна вага, кг	1
Комплексна похибка, %	0,2
Рекомендована напруга живлення, В	5 - 10
Клас точності	C3
Вартість, грн	154

Для використання такого тензодатчику необхідно обов’язково передбачити використання мікросхеми НХ711 (рис. 2.11). Вона має в своїй конструкції АЦП із роздільною здатністю 24 біти, в результаті чого підвищується точність вимірювань [40]. Характеристики мікросхеми наведені в таблиці 2.7.



Рисунок 2.11 – Мікросхема НХ711

В конструкції модулю наявні два канали (позначені А і В), до яких виконується підключення тензодатчиків. Каналу А характерний коефіцієнт

підсилення, який становить 128 або 64, в той час як для каналу В коефіцієнт підсилення становить 32.

Таблиця 2.7 – Характеристики мікросхеми НХ711 [40]

Характеристика	Значення
Вага, г	3
Розміри, мм	34 x 21 x 10
Робоча напруга, В	5
Розрядність АЦП, біт	24
Максимальна частота оновлення, Гц	80
Робоча температура, °С	-40...+85
Робочий струм, мА	До 10
Вартість, грн	22

2.5 Розробка конструкції установки для автоматизованого складання одягу

Для розробки прототипу АССО на першому етапі було використано САД моделювання у програмі SolidWorks [41]. На першому етапі було спроектовано раму, яка буде використовуватись для розміщення та закріплення на ній інших конструктивних елементів АССО.

Рама складається з десяти алюмінієвих профілів розміром 20x20 мм різної довжини, що мають V-подібні канавки, в які можна вставляти кріпильні вставки (рис. 2.12). Профілі збираються за допомогою гвинтів М5 та кутових кронштейнів як з металу, так і з пластику. Несучі металеві кронштейни розміщуються у критичних кутах рами, щоб протидіяти крутному моменту згину, який створюють сервомотори. Пластикові кронштейни використовуються в кутах, що не піддаються значним навантаженням. Використання пластикових кронштейнів замість суцільнометалевих має на меті зменшення ваги та вартості. Усі кріпильні вставки, необхідні для кріплення половинок шарнірів, були вставлені в канали, а

шарніри були закріплені на профілях за допомогою гвинтів М5. Опорні ніжки для рами були надруковані на 3D-принтері та прикріплені за допомогою ідентичних кріпильних вставок і гвинтів М5.

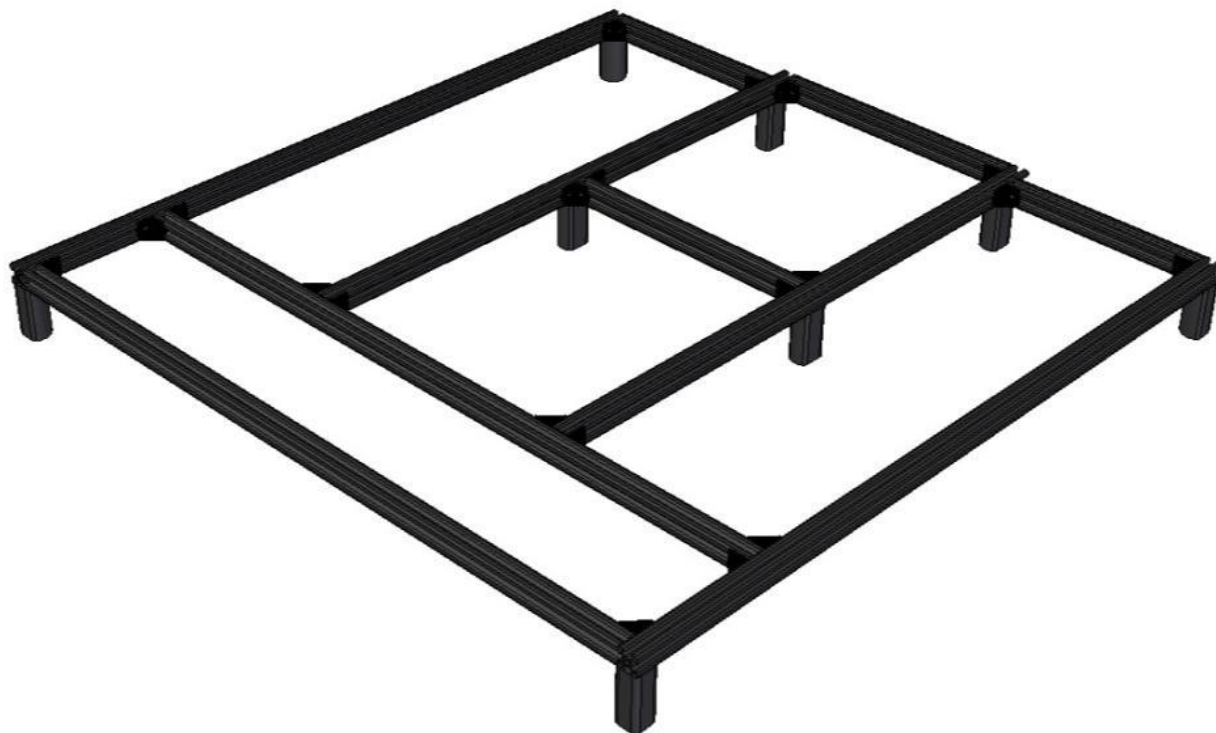


Рисунок 2.12 – CAD-модель рами АССО

Пряме горизонтальне складання здійснюється за допомогою горизонтальних дошок, що складаються з двох бічних, однієї середньої та однієї нижньої дошки (рис. 2.13). Також передбачена нерухома опорна пластина, на якій сорочка або футболка лежить після складання.

Ці дошки для складання обертаються за допомогою важеля, який піднімає їх вгору (рис. 2.14). Для забезпечення необхідного обертання кожна дошка була закріплена на двох обертових половинах шарніра, які, у свою чергу, з'єднані з двома нерухомими половинами шарніра, встановленими на рамі. Поворотні половини шарніра були закріплені на кожній дошці за допомогою гвинтів М5 та

відповідних прокладок і гайок. Орієнтація цих шарнірів визначає вісь обертання кожної дошки і саме це дозволяє їй обертатися лише навколо цієї осі.

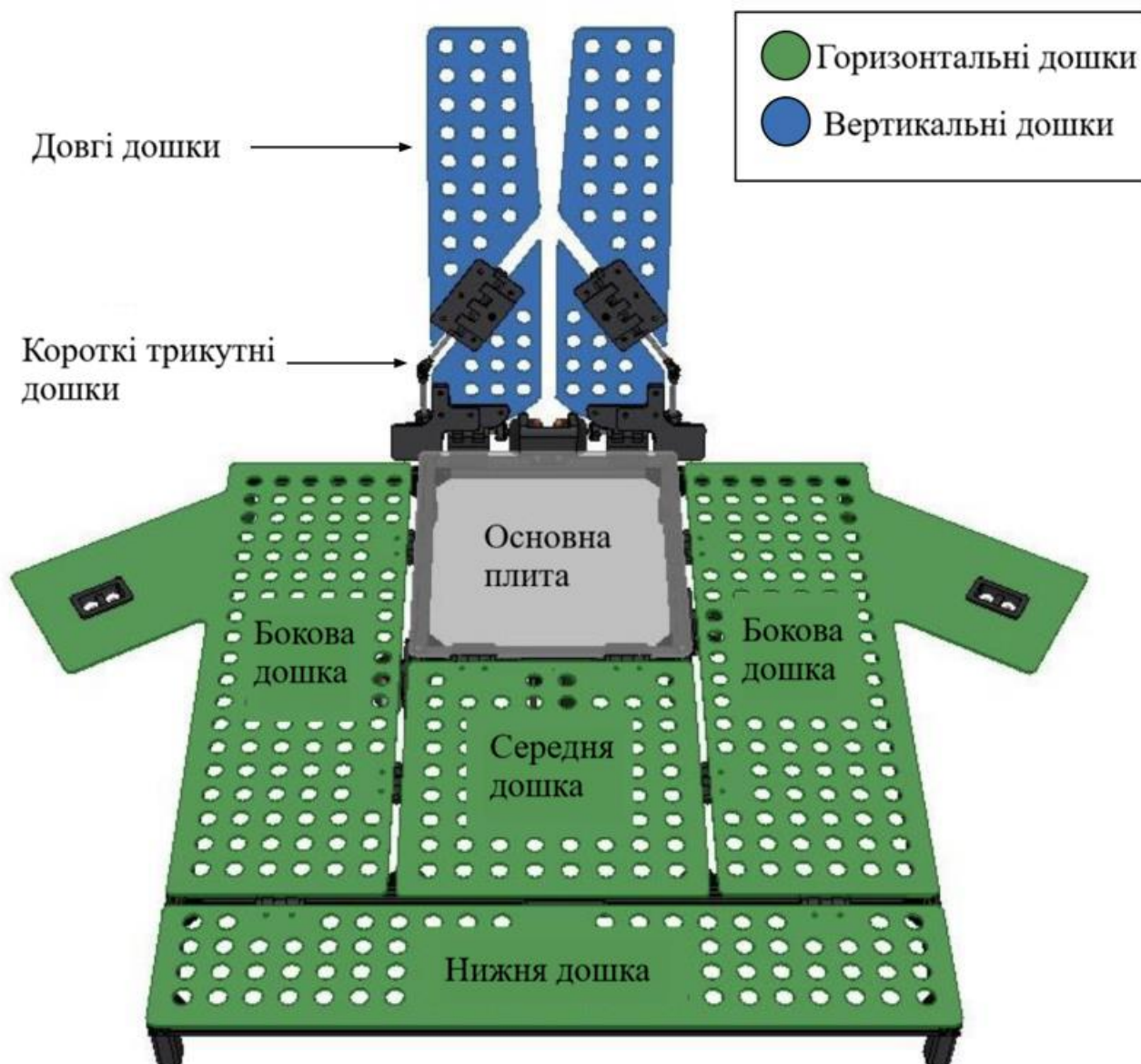


Рисунок 2.13 – CAD-модель конструктивних елементів АССО

Кожен важель кріпиться до валу сервомотора за допомогою кріплення, що входить до комплекту, і, отже, обертається при обертанні валу сервомотора. На важелях також передбачено невеликий гачок, у який можна засунути шнурок, щоб він не втрачав контакт із важелем. Інший кінець шнурка пропускали крізь отвори в кожній стулці та зав'язували на кінцях (рис. 2.15). Коли рука втягується, шнурок відтягує дошку назад, доки той не стане горизонтальним. Між рамою та кожною

дошкою розміщували невеликі гумові прокладки, щоб забезпечити кріплення половинок шарнірів знизу та пом'якшити удар, коли дошки втягуються у горизонтальне (спокійне) положення.



Рисунок 2.14 – Модель бокової дошки для складання

Дві вертикальні дошки для складання складаються з однієї короткої трикутної дошки та однієї довгої дошки (рис. 2.15). Ці дошки задіюються лише під час складання рукавів сорочки з довгими рукавами.

Коротка дошка обертається за допомогою вального механізму. У цьому механізмі вал діаметром 5 мм у формі літери «D» вставляється у шарнір з профілем у формі літери «D». Потім обертова половина шарніра радіально закріплюється на валу за допомогою різьбових термовставок та стопорних гвинтів М3 (рис. 2.16). Це дозволяє шарніру обертатися, коли вал обертається сервомотором.



Рисунок 2.14 – Кріплення бічної дошки за допомогою шнурка, що втягується в процесі роботи АССО



Рисунок 2.15 – CAD-модель вертикальних дошок для складання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Арк.
44

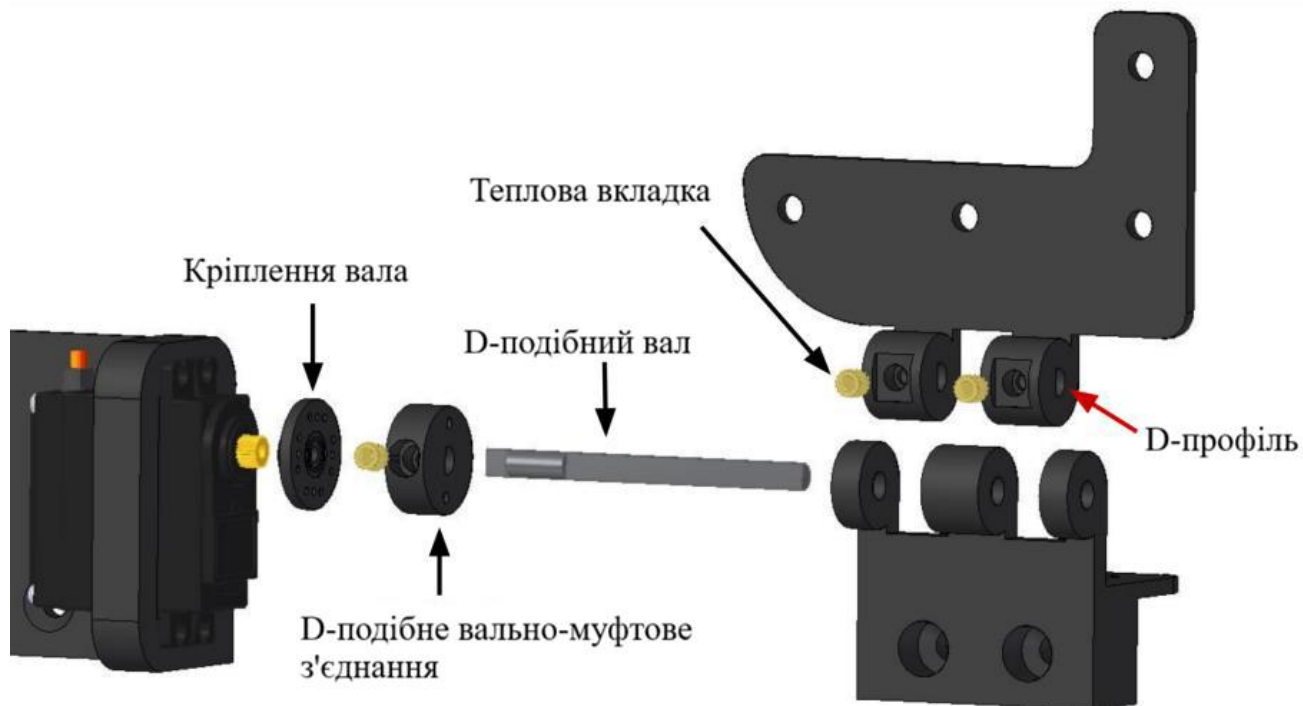


Рисунок 2.16 – Принцип роботи механізму руху коротких дошок

Аналогічно, довга дошка була прикріплена до короткої дошки таким самим чином за допомогою більш довгої шарнірної осі та D-подібного валу діаметром 4 мм. Оскільки одна зі сторін дошок повинна бути діагональною для досягнення бажаної складки при складанні, 4-міліметровий D-вал потрібно було нахилити та розділити на дві частини. Для нахилу валу використовували карданну муфту, щоб він рухався паралельно до цієї діагональної сторони (рис. 2.17).

АССО складається з великої кількості з'єднувальних елементів, а саме: різних типів шарнірів, муфт з D-подібним валом та муфт з карданним з'єднанням. Ці компоненти були розроблені на замовлення в CAD та виготовлені методом 3D-друку, оскільки для забезпечення необхідної функціональності були потрібні особливі розміри та геометрія.

Шарніри можна розділити на дві групи: шарніри, що друкуються на місці, та шарніри з наскрізною віссю (рис. 2.18). Перші використовуються в механізмі горизонтальних закріпків для обмеження руху горизонтальних закріпків до бажаної осі обертання. Другі також використовуються для цієї мети з додатковою функцією передачі моменту від D-валів до закріпків. Для радіального закріплення

D-валу також використовуються теплові вставки та стопорні гвинти. Шарніри складаються з нерухокої (статичної) половини та обертової половини (рис. 2.18). Обидва типи шарнірів можуть обертатися на 270 градусів від кінця до кінця.

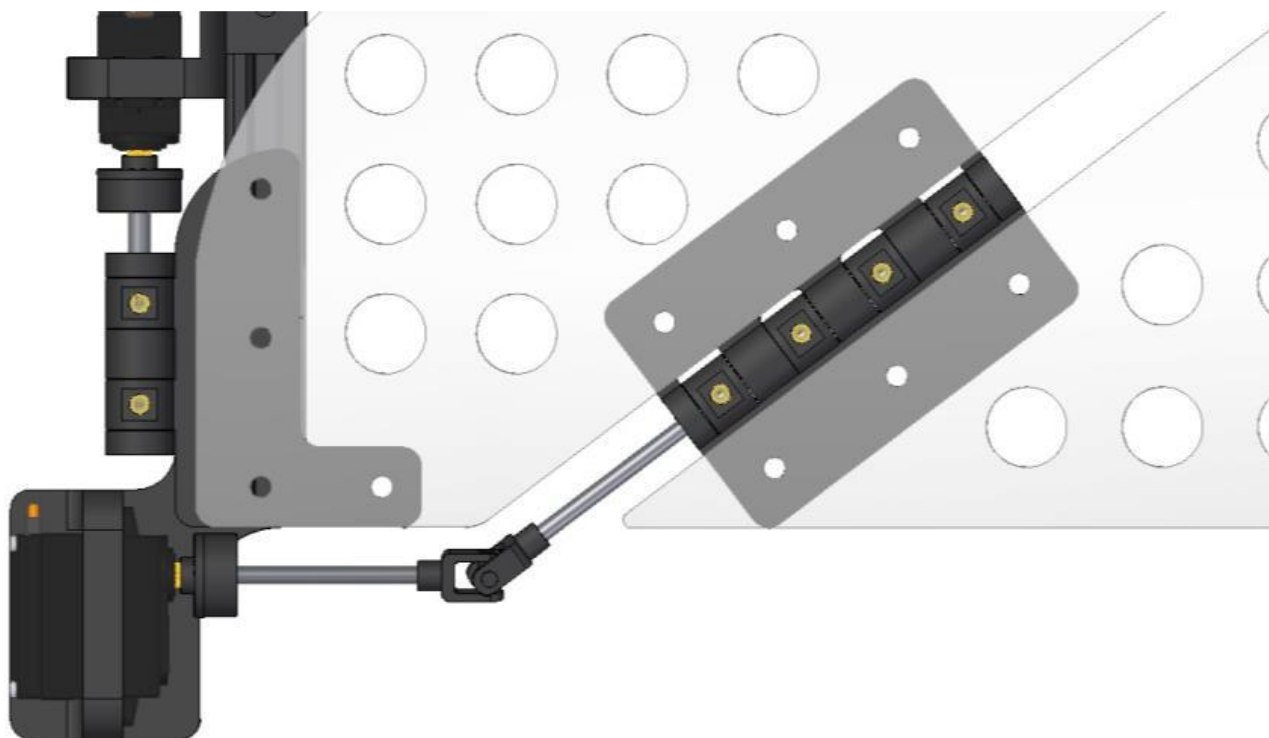


Рисунок 2.17 – Механізм приводної осі дошок для складання

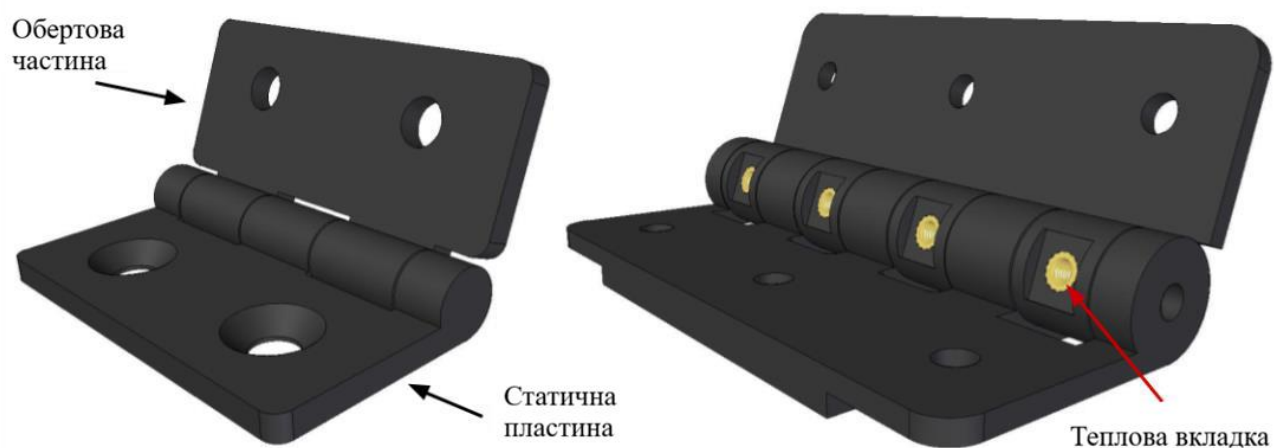


Рисунок 2.18 – Шарніри в АССО

Оскільки використання лише стопорних гвинтів не забезпечувало достатнього радіального зусилля для передачі крутного моменту, для передачі

крутного моменту від валу сервоприводу до D-подібного вала були використані муфти. Муфти були закріплені на кріпленні валу сервоприводу за допомогою двох гвинтів і оснащені теплової вкладкою для радіального фіксування D-подібного вала за допомогою стопорного гвинта. D-подібний вал — це, по суті, звичайний вал (або вісь) з D-подібним поперечним перерізом, який забезпечує передачу крутного моменту на муфту з перевернутим D-подібним перерізом (рис. 2.19).

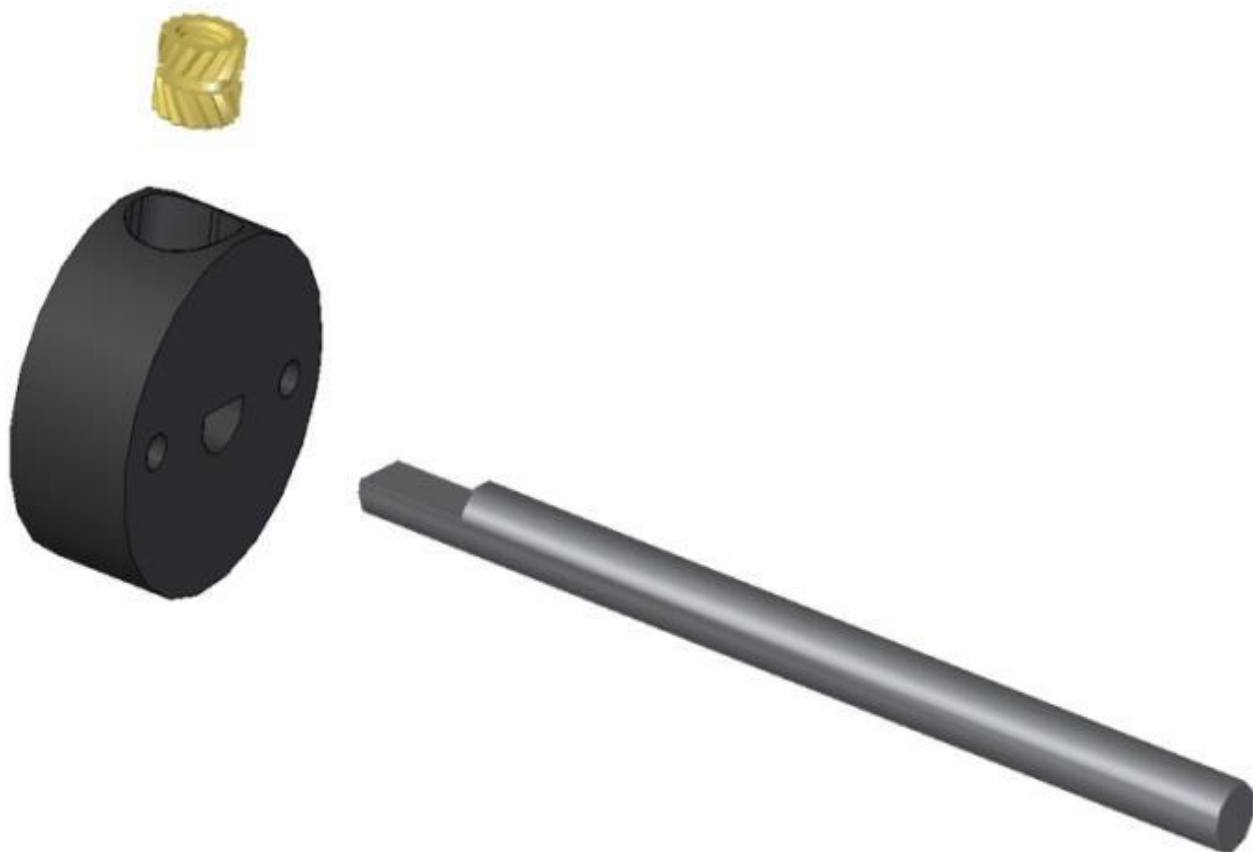


Рисунок 2.19 – D-подібне з’єднання

Також в АССО використовуються універсальні шарніри, які представляють собою це тип з’єднання валів, що дозволяє розміщувати вал під кутом, не обмежуючи при цьому його обертання (рис. 2.20). Це досягається за допомогою двох взаємозачіпних вилок, розділених хрестовиною, яка може вільно обертатися. Максимальний кут перекосу шарніра становить приблизно 30 градусів, чого цілком достатньо для даного застосування.



Рисунок 2.20 – Універсальний шарнір в АССО

2.6 Висновки до другого розділу

В другому розділі виконано підбір обладнання для автоматизованої системи складання одягу, а саме футболок та сорочок. Обладнання складається із мікроконтролера Arduino Mega 2560, який виступає в ролі основного елементу керування, а також двох видів сервоприводів моделей MG996R та DS3225, ультразвукового датчику HC-SR04, тензодатчику та мікросхеми HX711, та трансформатору перетворення напруги з 220 В на 5 В.

Крім того в розділі наведено детальний опис розроблення конструкції установки для автоматизованого складання одягу. АССО складається із двох бокових дошок для складання, однієї нижньої, однієї середньої дошки, а також основної плити, на якій буде розташована футболка або сорочка після складання. Вертикальні дошки для складання використовуються лише у випадку складання сорочок.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДАННЯ ОДЯГУ

3.1 Моделювання руху механізмів автоматизованої системи складання одягу

На результат складання значний вплив мають як рух дошок, так і конкретна послідовність їхнього переміщення. Машина має загалом вісім різних дошок, пронумерованих, як показано на рисунку 3.1, які працюють у тандемі для виконання необхідної послідовності складання.

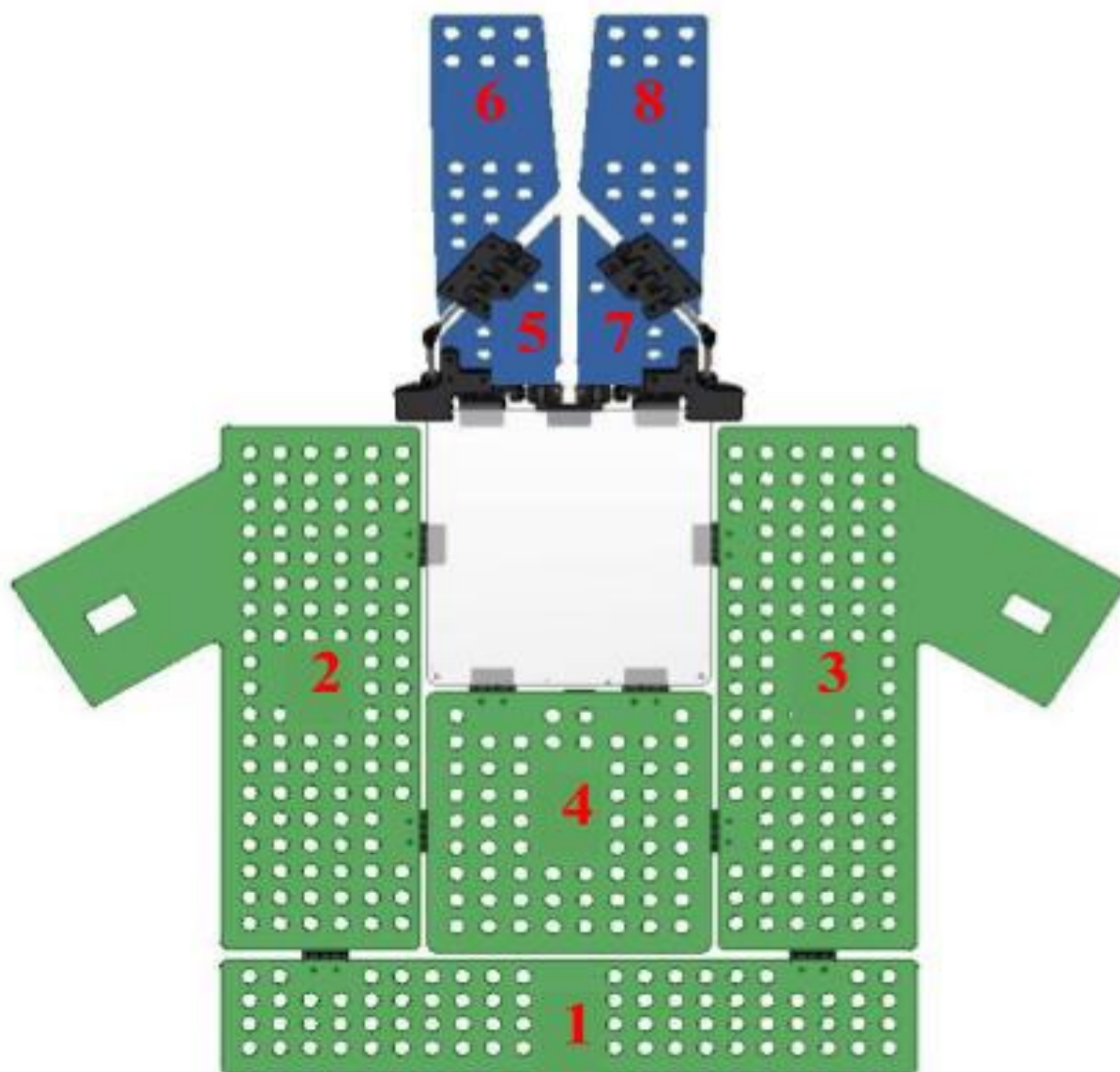


Рисунок 3.1 – Послідовність виконання операції автоматизованого складання одягу

На початковому етапі футболка розкладається на робочій поверхні стенда у розправленому вигляді - лицьовою стороною вниз. Виріб розміщується таким чином, щоб нижній край футболки знаходився над елементом 1 (нижня секція платформи), а основна частина тулуба виробу рівномірно розташовувалась над центральною зоною платформи, яка утворена секціями 2, 3 та 4. Рукави футболки при цьому лежать поверх бічних секцій 2 (ліва) та 3 (права).

Після підтвердження датчиком наявності виробу система розпочинає цикл складання. Першим спрацьовує елемент 1 - нижня секція виконує підгинання нижнього краю футболки догори, формуючи першу складку в нижній частині виробу. Після цього одночасно або послідовно спрацьовують бічні секції 2 та 3 - вони повертаються до центру, загортаючи ліву і праву частини футболки разом із рукавами до середини. В результаті цього руху рукави виявляються складеними вздовж тулуба виробу. Завершальним кроком є спрацьовування центральної секції 4, яка виконує фінальне підгинання - складає нижню половину виробу на верхню, формуючи кінцевий компактний прямокутний вигляд складеної футболки.

При складанні сорочок до стандартного циклу додається попередній етап обробки коміра і верхньої частини виробу, для чого задіюються елементи верхньої групи - 5, 6, 7 та 8. Сорочка розміщується аналогічно до футболки, проте комір і верхні кути пілочок виходять за межі основної платформи у зону дії верхніх механізмів. Елементи 6 та 8 (верхні синій пластини, розташовані симетрично) виконують підгинання верхніх кутів сорочки - лівої та правої пілочок відповідно, - фіксуючи їх у складеному положенні. Елементи 5 та 7 (центральні кріпильні вузли між верхніми пластинами та основною платформою) забезпечують утримання верхньої частини виробу у заданому положенні під час подальшого складання основних секцій. Після відпрацювання верхньої групи механізмів система виконує стандартний цикл складання через послідовне спрацьовування секцій 1, 2, 3 та 4 в тому самому порядку, що й при складанні футболок, завершуючи формування компактного прямокутного пакету готового до пакування виробу.

Дошки для складання з номерами від 1 до 4 повертаються вгору до центру машини, а потім повертаються у вихідне положення. Заслінки з номерами від 5 до 8 повертаються відповідно до схеми, зображеної на рисунку 3.2.

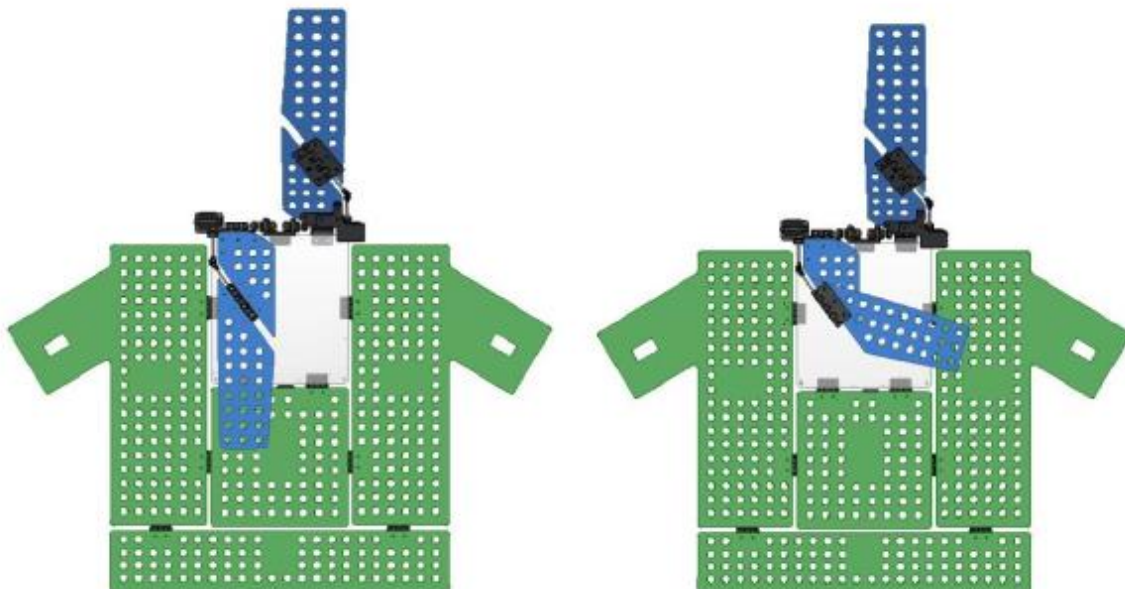


Рисунок 3.2 – Схема роботи верхніх дошок для складання

Послідовність цих рухів залежить від того, яка сорочка розміщена на машині. Послідовність складання футболки залежить лише від руху дошок для складання під номерами 1–4, тоді як для сорочок з довгими рукавами задіюються всі дошки для складання. Порядок руху дошок для складання наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порядок руху дошок для складання в АССО

Предмет, який складається	Порядок руху дошок для складання
Сорочка	дошка 1, дошка 5 донизу, дошка 6 обертається всередину, 2, дошка 6 обертається назовні, дошка 5 догори, дошка 7 донизу, дошка 8 обертається всередину, дошка 7 догори, дошка 4
Футболка	дошка 1, дошка 2, дошка 3, дошка 4

3.2 Розроблення електричної схеми

Розробка електричної схеми підключення є невід'ємною і принципово важливою складовою процесу проектування будь-якої автоматизованої системи, оскільки саме вона визначає логіку електричних зв'язків між усіма компонентами системи ще до початку фізичного монтажу. Наявність детально опрацьованої схеми дозволяє на етапі проектування виявити потенційні помилки у підключенні - некоректну полярність живлення, відсутність захисних елементів, неправильний розподіл навантаження між виводами мікроконтролера або недостатню потужність блока живлення - і усунути їх без витрат на переробку вже змонтованого обладнання [42]. Схема також є обов'язковим інструментом верифікації технічних рішень: порівнюючи характеристики компонентів із вимогами схеми, розробник може переконатися у сумісності елементів між собою та відповідності обраної елементної бази розрахунковим параметрам системи ще на стадії вибору комплектуючих.

Крім функції інструменту проектування, електрична схема підключення виконує роль технічного документа, який супроводжує систему протягом усього її життєвого циклу - від виготовлення і налагодження до технічного обслуговування і можливої модернізації. У процесі налагодження схема є основним орієнтиром для пошуку несправностей: знаючи, які сигнали і в яких точках схеми мають бути присутні, технік може швидко локалізувати несправний вузол без необхідності відстежувати фізичні з'єднання на платі. При модернізації або розширенні функціональності системи актуальна схема дозволяє коректно інтегрувати нові компоненти без ризику конфлікту з вже існуючими з'єднаннями, що суттєво скорочує час і витрати на доопрацювання [43].

Електрична схема підключення розробленої автоматизованої системи складання одягу відображає повний склад електронних компонентів та характер зв'язків між ними: підключення мікроконтролера Arduino Mega 2560 як центрального керуючого вузла, розводку ліній живлення 5В і 12В від блока

живлення до відповідних споживачів, з'єднання виводів мікроконтролера з керуючими входами сервоприводів, що відповідають за рух секцій складального стенда, спосіб підключення тензодатчика через модуль HX711 для контролю наявності виробу на робочій поверхні, а також розміщення захисних елементів - резисторів і діодів - у колах керування сервоприводами для захисту цифрових виходів мікроконтролера від перевантаження за струмом. Сукупність усієї цієї інформації дає вичерпне уявлення про електричну архітектуру системи та є достатньою основою для її відтворення, перевірки і подальшого вдосконалення.

Підключення складових елементів АССО наведені у таблицях 3.2 – 3.6, а електрична схема підключення наведена на рисунку 3.3.

Таблиця 3.2 – Підключення ультразвукових датчиків HC-SR04

Вивід датчика	Підключення до мікроконтролера	Призначення
VCC	5V	Живлення
GND	GND	Земля
TRIG	Пін 22 (датчик 1) та 24 (датчик 2)	Тригерний сигнал
ECHO	Пін 23 та 25	Сигнал відлуння

Таблиця 3.3 – Підключення сервоприводів MG996R

Вивід	Підключення	Призначення
Сигнал	Піни 2, 3, 4, 5, 6 і 7	ШІМ-керування
Живлення	Понижуючий трансформатор	5В
Земля	GND	Земля

Таблиця 3.4 – Підключення сервоприводів DS3225

Вивід	Підключення	Призначення
Сигнал	Пін 8 та 9	ШІМ-керування
Живлення	Понижуючий трансформатор	5V
Земля	GND	Земля

Таблиця 3.5 – Підключення тензодатчику та модулю HX711

Вивід	Підключення	Призначення
E+ (червоний)	VCC (HX711)	Живлення моста +
E- (чорний)	GND (HX711)	Живлення моста -
S- (білий)	A- (HX711)	Сигнал -
S+ (білий)	A+ (HX711)	Сигнал +
VCC (HX711)	5V (Arduino)	Живлення
GND (HX711)	GND (Arduino)	Земля
SCK (HX711)	Пін 11 (Arduino)	Синхронізація
DT (HX711)	Пін 10 (Arduino)	Дані

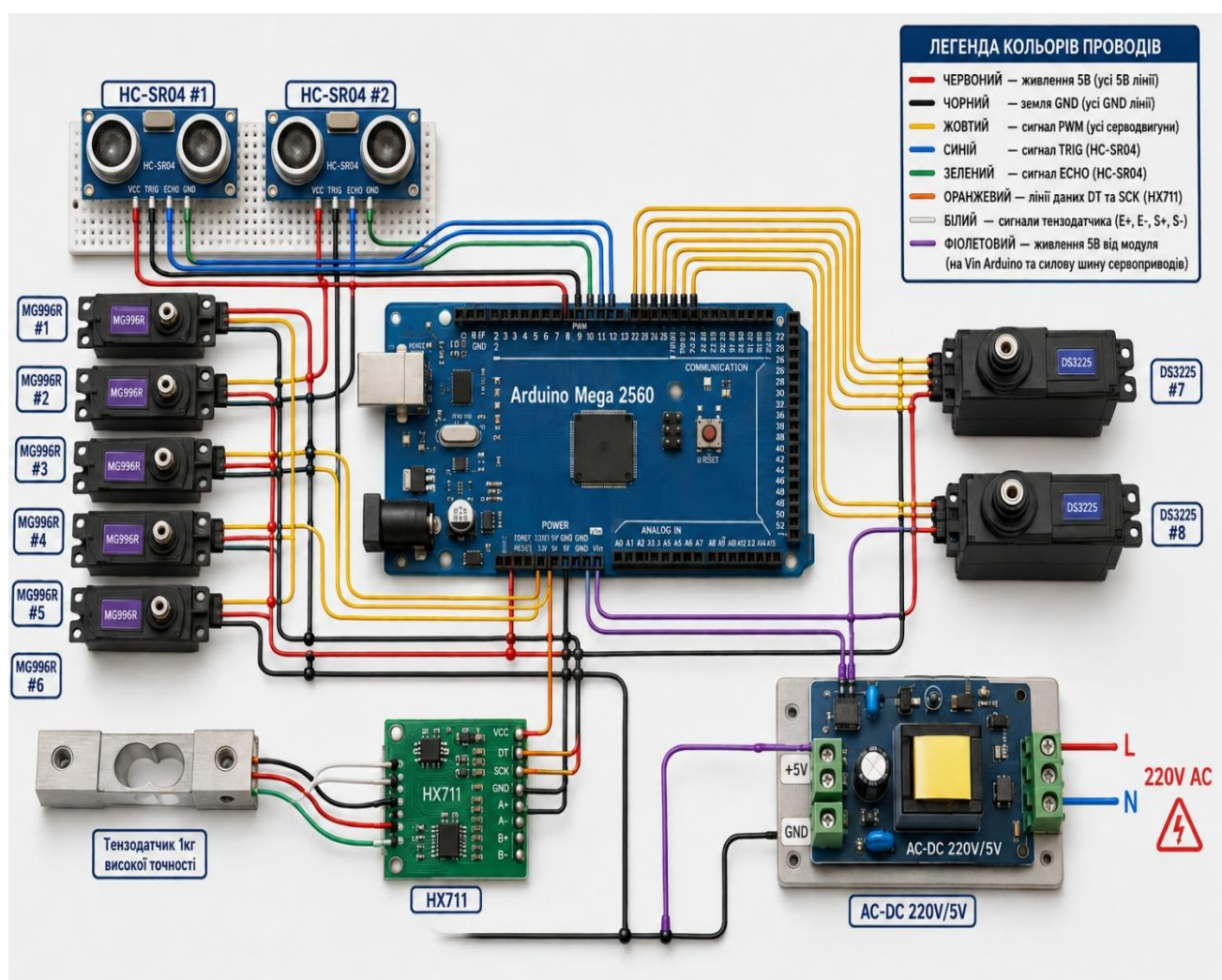


Рисунок 3.3 – Електрична схема підключення АССО

Таблиця 3.6 – Підключення понижуючого трансформатору

Вивід	Підключення	Призначення
Вихід – (GND)	Земля всіх компонентів системи	Загальна земля
Вихід + (5V)	VCC всіх сервоприводів	Живлення
Вхід N	Мережа 220 В	Нуль
Вхід L	Мережа 220 В	Фаза

3.3 Розроблення програмного забезпечення

Першим етапом розроблення будь-якого програмного забезпечення є розроблення алгоритму дії автоматизованої системи. Алгоритм – це логіка виконання функцій певної програми та/або обладнання, набір умов та послідовностей, яким повинна слідувати програма при її запуску та функціонуванні [44].

Розробка алгоритму керування є фундаментальним етапом створення будь-якої автоматизованої системи, оскільки саме алгоритм визначає чітку і однозначну послідовність дій, які система має виконувати для досягнення поставленої мети, а також умови переходу між цими діями залежно від поточного стану об'єкта керування. Відсутність попередньо розробленого алгоритму унеможливило написання коректної керуючої програми, оскільки програмний код є лише формальним записом алгоритмічної логіки мовою програмування - і якщо ця логіка не визначена заздалегідь, програма не матиме чіткої структури, що неминуче призведе до некоректної роботи системи, непередбачуваної реакції на вхідні сигнали або аварійних ситуацій [45]. Крім того, наявність детально опрацьованого алгоритму у графічному вигляді - у формі блок-схеми - дозволяє виявити логічні помилки і суперечності у задуманій послідовності керуючих дій ще до початку програмування, що суттєво скорочує час налагодження системи і підвищує надійність її функціонування в цілому.

Для АССО було розроблено алгоритм, який наведено на рисунку 3.4.

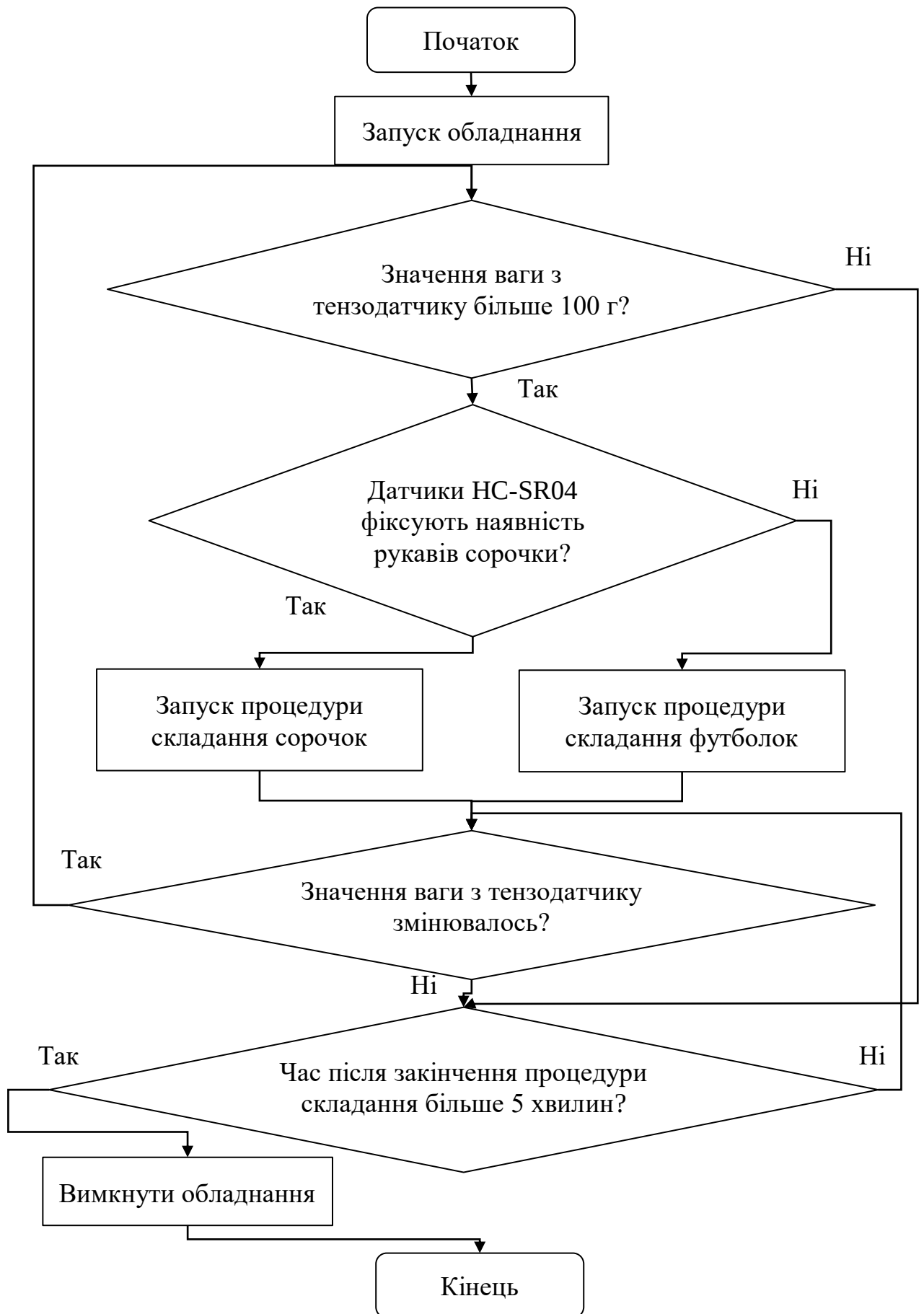


Рисунок 3.4 – Алгоритм АССО

Алгоритм роботи АССО складається з кількох послідовних етапів, кожен з яких виконує чітко визначену функцію в загальному циклі роботи пристрою. Алгоритм побудований за принципом розгалуженої логічної структури з петлями зворотного зв'язку, що забезпечує адаптивну реакцію системи на поточний стан об'єкта керування та умови навколишнього середовища.

Алгоритм розпочинається з блоку «Початок», який є стандартним термінальним елементом блок-схеми і позначає момент подачі живлення на систему або натискання оператором кнопки запуску. Одразу після цього виконується блок «Запуск обладнання», в якому мікроконтролер Arduino Mega 2560 виконує ініціалізацію всіх підключених компонентів - перевіряє зв'язок із модулем зважування HX711, отримує початкові показання тензодатчика для встановлення нульової точки відліку (тарування), ініціалізує обидва ультразвукові датчики HC-SR04 та переводить усі вісім сервоприводів у вихідне положення. Цей підготовчий етап є обов'язковим, оскільки коректність роботи всіх наступних блоків алгоритму безпосередньо залежить від правильної ініціалізації апаратної частини. Зокрема, тарування тензодатчика на старті дозволяє виключити вплив власної ваги платформи та інших конструктивних елементів стенда на подальші вимірювання, що забезпечує точне визначення факту розміщення виробу на робочій поверхні.

Після завершення ініціалізації алгоритм переходить до першого вузлового блоку прийняття рішення - перевірки показань тензодатчика: «Значення ваги з тензодатчику більше 100 г?». Порогове значення 100 г обрано не випадково - воно відповідає мінімальній вазі найлегшого виробу, який може оброблятися системою, а саме легкої жіночої футболки розміру S із тонкого трикотажу [46]. Таким чином, будь-який виріб, що підлягає складанню - як футболки, так і сорочки різних розмірів і матеріалів, - гарантовано перевищуватиме цей поріг при розміщенні на платформі. Якщо показання тензодатчика не перевищують 100 г, алгоритм переходить по гілці «Ні» і повертається на початок цього ж блоку перевірки, утворюючи замкнений цикл очікування. Система залишається в режимі

очікування до тих пір, поки оператор не розмістить виріб на робочій поверхні стенда. Це рішення є технічно обґрунтованим, оскільки запобігає холостому спрацюванню сервоприводів у відсутності виробу, що могло б призвести до механічного зношення компонентів або пошкодження конструкції стенда при повторних холостих циклах.

Після підтвердження факту наявності виробу на платформі алгоритм переходить до другого блоку прийняття рішення - «Датчики HC-SR04 фіксують наявність рукавів сорочки?». Цей етап є ключовим з точки зору адаптивності системи, оскільки саме тут відбувається автоматичне визначення типу виробу без участі оператора. Обидва ультразвукові датчики HC-SR04 розміщені в зонах, що відповідають положенню рукавів сорочки на розкладеному виробі - тобто у верхній частині платформи по обидва боки від центральної осі. Сорочки мають довгі рукави, які при розкладанні виходять за межі зони, де зазвичай закінчуються рукава футболок, тому датчики фіксують наявність матеріалу у відповідних зонах і формують сигнал «Так». Футболки мають короткі рукави або зовсім відсутні рукави у вигляді довгих елементів, тому в зонах контролю датчики не виявляють матеріалу і формують сигнал «Ні». Таким чином, система автоматично розрізняє два типи виробів виключно на підставі фізичних показань датчиків, не потребуючи жодного втручання оператора для вибору режиму роботи.

Залежно від результату перевірки на попередньому етапі алгоритм розгалужується на два паралельних шляхи виконання. При виявленні рукавів сорочки запускається «Процедура складання сорочок», яка передбачає попереднє спрацювання верхньої групи механізмів - сервоприводів DS3225 (елементи 5 і 7) та відповідних сервоприводів MG996R (елементи 6 і 8) для підгинання верхніх кутів пілочок і фіксації коміра, після чого виконується стандартний цикл складання через послідовне спрацювання секцій 1, 2, 3 та 4. При відсутності ознак рукавів сорочки запускається «Процедура складання футболок», яка одразу переходить до основного циклу складання - спрацювання нижньої секції 1, бічних секцій 2 і 3 та центральної секції 4 - без залучення верхньої групи механізмів.

Обидві процедури завершуються поверненням усіх сервоприводів у вихідне положення після виконання фінального складання, що готує стенд до прийняття наступного виробу.

Після завершення будь-якої з двох процедур складання алгоритм переходить до блоку перевірки «Значення ваги з тензодатчику змінювалось?». Цей блок виконує функцію контролю результату складання і одночасно визначає подальший напрямок роботи системи. Якщо після завершення процедури складання оператор забрав складений виріб з платформи і розмістив наступний - показання тензодатчика змінились, що фіксується як сигнал «Так», і алгоритм повертається до блоку перевірки ваги на початку циклу, розпочинаючи нову ітерацію обробки виробу. Якщо ж показання тензодатчика не змінились після завершення складання - тобто виріб досі лежить на платформі або платформа порожня і нічого не відбувалось - алгоритм переходить по гілці «Ні» до наступного блоку перевірки. Така логіка забезпечує безперервний режим роботи системи при послідовній обробці партії виробів без необхідності ручного перезапуску після кожного циклу.

Завершальним функціональним блоком алгоритму є перевірка «Час після закінчення процедури складання більше 5 хвилин?». Цей блок реалізує функцію автоматичного вимкнення обладнання при тривалому простої, що є важливим з точки зору енергоефективності та продовження ресурсу сервоприводів. Якщо після завершення останньої процедури складання минуло менше п'яти хвилин і новий виріб не надійшов на платформу, алгоритм переходить по гілці «Ні» і повертається до блоку перевірки зміни ваги, продовжуючи очікування нового виробу. Якщо ж п'ятихвилинний інтервал очікування вичерпано без надходження нового виробу, алгоритм переходить по гілці «Так» до блоку «Вимкнути обладнання», в якому мікроконтролер подає команди на знеструмлення сервоприводів і переводить систему в режим мінімального енергоспоживання або повного вимкнення. Після виконання процедури вимкнення алгоритм завершує свою роботу переходом до термінального блоку «Кінець», що позначає коректне

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Арк.

59

завершення циклу функціонування системи. Вибір порогового значення у п'ять хвилин є компромісним рішенням між оперативною готовністю системи до обробки нового виробу і необхідністю економії електроенергії та ресурсу виконавчих механізмів при тривалих перервах у роботі.

Після розроблення алгоритму для АССО, на мові C++ [47, 48] було написано код програми для мікроконтролера Arduino Mega 2560.

Програма для мікроконтролера складається з кількох логічних блоків, кожен з яких відповідає за виконання певної функції в загальному циклі роботи АССО.

На початку програми визначаються всі необхідні константи та змінні, які використовуватимуться впродовж всього циклу роботи системи. Для кожного з восьми сервоприводів призначається відповідний цифровий вивід мікроконтролера - від другого до дев'ятого піна включно. Ультразвукові датчики підключені до виводів 24-27, причому правий датчик використовує виводи 24 і 25, а лівий - 26 і 27. Окремо визначається критична відстань спрацювання ультразвукових датчиків, яка становить 40 сантиметрів - саме це значення є порогом, за яким система визначає наявність рукава сорочки в зоні контролю датчика. Також задаються початкові кутові положення для кожного сервоприводу - більшість з них починають рух з нульового положення, тоді як п'ятий та шостий сервоприводи мають початкове положення 10 градусів. Для кожного сервоприводу встановлюються цільові кути повороту - від 110 градусів для першого до 180 градусів для шостого - а також часові інтервали між кроками руху вперед і назад, що дозволяє регулювати швидкість переміщення кожної секції стенда незалежно одна від одної.

Програма містить дві універсальні допоміжні функції, які забезпечують плавне керування будь-яким сервоприводом системи. Перша функція реалізує рух сервоприводу вперед - від початкового положення до заданого кута. Вона отримує на вхід номер виводу, початкове положення, цільовий кут та часовий інтервал між кроками. Функція підключає відповідний сервопривід, після чого у циклі

покроково збільшує кут повороту на один градус з кожним кроком, затримуючись між кроками на заданий інтервал часу в мілісекундах. Після досягнення цільового кута сервопривід відключається від керування, що дозволяє звільнити ресурси мікроконтролера. Друга функція працює за аналогічним принципом, але виконує зворотний рух - від заданого кута до початкового положення, покроково зменшуючи кут повороту. Завдяки такому підходу швидкість руху кожної секції стенда може бути гнучко налаштована шляхом зміни часового інтервалу - менший інтервал забезпечує швидший рух, більший - повільніший і плавніший. При цьому для руху вперед і назад можуть бути задані різні швидкості, що дозволяє, наприклад, виконувати робочий хід секції швидко, а повернення у вихідне положення - повільніше для уникнення різких поштовхів.

Функція складання футболок реалізує послідовне спрацювання чотирьох основних секцій стенда. На першому кроці активується перший сервопривід, який керує нижньою секцією платформи - вона виконує підйом до кута 110 градусів, підгинаючи нижній край футболки, після чого повертається у вихідне положення. Після короткої паузи у 20 мілісекунд активується другий сервопривід, який відповідає за ліву бічну секцію - вона піднімається до кута 140 градусів, загортаючи ліву частину футболки разом із рукавом до центру, і також повертається назад. Аналогічно відпрацьовує третій сервопривід, що керує правою бічною секцією, виконуючи симетричну операцію з правою стороною виробу. Завершальним кроком є спрацювання четвертого сервоприводу, який керує центральною секцією платформи - вона піднімається до кута 130 градусів і виконує фінальне складання, підгинаючи нижню половину вже частково складеного виробу на верхню, формуючи компактний прямокутний пакет готової до пакування футболки. Вся процедура виконується без участі верхньої групи механізмів - п'ятого, шостого, сьомого та восьмого сервоприводів, - що суттєво скорочує загальний час циклу складання.

Функція складання сорочок є значно складнішою і передбачає залучення всіх восьми сервоприводів системи у строго визначеній послідовності. Важливою

особливістю цієї процедури є те, що для п'ятого і шостого сервоприводів початкова і кінцева позиції переставлені місцями порівняно зі стандартною логікою - ці сервоприводи починають рух із кутового положення і повертаються до нульового, що відповідає особливостям їх механічного кріплення в конструкції стенда.

Процедура починається зі спрацювання першого сервоприводу - нижня секція виконує підйом і повернення, формуючи першу складку в нижній частині сорочки. Після паузи у 100 мілісекунд активується п'ятий сервопривід, який опускає ліву верхню напрямну дошку у робоче положення, а потім шостий сервопривід складає ліву верхню частину сорочки. Після цього другий сервопривід виконує складання лівої бічної частини виробу разом із рукавом. Далі шостий і п'ятий сервоприводи повертаються у вихідні положення, звільняючи простір для подальших операцій. На наступному кроці сьомий сервопривід опускає праву верхню напрямну дошку, восьмий виконує складання правої верхньої частини сорочки, а третій сервопривід складає праву бічну частину виробу з рукавом. Після цього восьмий і сьомий сервоприводи повертаються у вихідні положення. Завершує процедуру четвертий сервопривід, який виконує фінальне підгинання центральної секції, формуючи готовий складений виріб.

Головний цикл програми є відносно коротким, але саме він забезпечує безперервну роботу системи в режимі реального часу. На кожній ітерації циклу мікроконтролер зчитує поточний стан кнопки запуску та актуальні показання обох ультразвукових датчиків. Якщо кнопка не натиснута, система залишається в режимі очікування і не виконує жодних дій. При натисканні кнопки програма перевіряє показання обох датчиків одночасно - якщо відстань, зафіксована лівим датчиком, і відстань, зафіксована правим датчиком, обидві не перевищують 40 сантиметрів, система розцінює це як ознаку наявності довгих рукавів сорочки і запускає процедуру складання сорочок. Якщо хоча б один із датчиків фіксує відстань більше 40 сантиметрів - тобто рукави у зонах контролю відсутні - система запускає процедуру складання футболок. Після завершення будь-якої з двох

процедур головний цикл продовжує роботу, знову зчитуючи стан кнопки і готуючись до обробки наступного виробу.

3.4 Моделювання роботи автоматизованої системи складання одягу

Після створення CAD-моделі АССО, було виготовлено її прототип, який показано на рисунку 3.5. Для виготовлення прототипу було використано технології 3D-друку [49]. Матеріал рами АССО – алюміній [50], а матеріал дошок для складання – пластик [51].



Рисунок 3.5 – Прототип АССО

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ

Арк.
63

Для розуміння ефективності та коректності роботи АССО було виконано ряд тестових складань одягу. Крім того, було необхідно виконати мінімальну оцінку надійності та відтворюваності результатів.

Для цього було виконано складання ряду елементів одягу, а саме:

- бавовняно-поліестерові футболки (кількість 10 штук);
- тонкі сорочки з довгими рукавами (кількість 10 штук).

В подальшому було виконано замір часу, за який АССО виконала автоматичне складання цих елементів одягу та виконано порівняння автоматизованого складання одягу із складанням вручну. Результати порівняння наведені у таблиці 3.7 для футболок, а у таблиці 3.8 – тонких сорочок.

Таблиця 3.7 – Порівняння ручного складання футболок із складанням за допомогою АССО

Тип складання	Час складання, с									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Людина	3,3	3,28	3,6	3,2	3,75	3,4	4,5	3,4	3,7	4,2
АССО	6,3	6,36	6,3	6,2	6,3	6,6	6,4	6,2	6,1	6,2

Таблиця 3.8 – Порівняння ручного складання сорочок із складанням за допомогою АССО

Тип складання	Час складання, с									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Людина	14,6	12,0	13,0	16,6	17,4	12,4	11,5	12,5	10,2	12,0
АССО	13,3	13,4	13,1	13,9	13,3	13,4	13,5	13,0	13,15	13,0

Після аналізу експериментальних даних щодо порівняння ручного та автоматичного складання футболок видно, що в загальному спостерігається тенденція до того, що АССО складає футболку на 2 секунди довше, ніж людина. Проте, в середньому час складання за допомогою АССО приблизно однаковий та

лежить в межах між 6,1 до 6,4 с, тобто різниця часу складає не більше 0,3 с. В той же час при ручному складанні різниця в часі складання футболки складає 1 с.

При аналізі експериментальних даних щодо порівняння ручного та автоматичного складання сорочок видно, що автоматичним методом сорочка складається приблизно за 13,5 с. Різниця в часі при автоматичному методі складання становить не більше 1 с. В той же час при ручному складанні час кожного експерименту сильно відрізняється. Наприклад, складання під номером 9 зайняло всього 10,2 с, а складання номер 5 – 17,4 с. Тобто відхилення в ручному методі становить близько 7 с.

Аналіз даних щодо складання сорочок дозволяє стверджувати про якісну повторюваність результатів, а також про стабільність роботи АССО. Крім того, приблизно в половині випадків складання сорочок АССО виконала процедуру швидше, ніж людина. Це характерно для складань під номером 1, 3, 4 та 5.

Отримані результати пояснюються насамперед принциповою різницею у складності самої операції складання для кожного типу виробу. Людина складає футболку надзвичайно швидко - в середньому за 3,54 секунди - саме тому, що ця операція є простою, звичною і не потребує жодних проміжних кроків: досвідчена людина виконує 2-3 рухи руками інтуїтивно і без пауз між ними. АССО змушена виконувати ту саму операцію строго послідовно - секція за секцією - з обов'язковими технологічними паузами між спрацюваннями сервоприводів для забезпечення механічної стабільності конструкції. Саме ці паузи і послідовний характер виконання операцій, а не швидкість самих сервоприводів, є головною причиною того, що час складання футболки автоматизованою системою майже вдвічі перевищує час складання людиною.

У випадку із сорочками ситуація кардинально інша. Складання сорочки вручну є набагато складнішою і тривалішою операцією - середній час становить 13,22 секунди, що у 3,7 рази більше, ніж при складанні футболки. Людина при складанні сорочки змушена окремо обробляти кожен рукав, підгинати комір, слідкувати за рівністю пілочок і виконувати більшу кількість послідовних ручних

операцій, між якими неминуче виникають мікропаузи для перехвату і перепозиціонування рук. Автоматизована система, своєю чергою, виконує складання сорочки також послідовно через усі вісім сервоприводів, проте загальний час її роботи (13,31 с) майже збігається з людським показником, оскільки тривалість механічного циклу системи при обробці сорочки наближається до природного темпу виконання цієї складної операції людиною.

Таким чином, головна причина відносно гіршого результату системи при складанні футболук криється не у недосконалості самої автоматизованої системи, а у невідповідності між надзвичайно коротким часом виконання простої операції людиною і мінімально необхідним часом механічного циклу, який неможливо скоротити нижче певної межі без ризику некоректного виконання складання. Іншими словами, для футболук людина демонструє свою найкращу відносну перевагу саме тому, що ця операція є для неї найпростішою і найшвидшою, тоді як для механічної системи мінімальний час циклу визначається фізичними обмеженнями - швидкістю сервоприводів, необхідними паузами між спрацюваннями та інерцією рухомих елементів конструкції.

Варто також зазначити, що показники автоматизованої системи при складанні футболук відрізняються надзвичайно малою варіативністю - час коливається в межах від 6,1 до 6,6 секунди, тобто розкид становить лише 0,5 секунди або близько 8% від середнього значення. Натомість людські показники при складанні футболук коливаються від 3,2 до 4,5 секунди - розкид 1,3 секунди або близько 37% від середнього. Це свідчить про те, що автоматизована система, попри більший абсолютний час виконання операції, забезпечує значно вищу стабільність і відтворюваність результату, що є принциповою перевагою в умовах масового виробництва, де стандартизованість і передбачуваність процесу є важливішими за абсолютну швидкість окремого циклу.

Для підвищення швидкодії автоматизованої системи при складанні футболук найбільш перспективним напрямком вдосконалення є перехід від суто послідовного виконання операцій до частково паралельного - зокрема, одночасне

спрацювання лівої та правої бічних секцій (другого і третього сервоприводів) замість їх почергової активації, оскільки ці дві операції є симетричними і механічно незалежними одна від одної, а їх суміщення у часі дозволило б скоротити загальний час циклу приблизно на величину часу виконання однієї з них. Додатково слід розглянути можливість зменшення часових інтервалів між кроками руху сервоприводів після попередньої перевірки механічної стійкості конструкції при підвищеній швидкості, а також скорочення пауз між послідовними спрацюваннями секцій з поточних 20 мілісекунд до мінімально допустимого значення, при якому рухомі елементи стенда встигають зайняти стійке положення перед початком наступної операції - це у сукупності могло б наблизити час автоматизованого складання футболки до показника у 4-5 секунд, що є значно ближчим до середнього людського результату в 3,54 секунди.

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі виконано дослідження розробленої автоматизованої системи складання одягу. Виконано моделювання руху механізмів АССО та наведено детальний опис процедури складання в залежності від того, який об'єкт знаходиться на АССО – футболка чи сорочка.

Також виконано розроблення електричної схеми підключення складових елементів АССО та виконано розроблення алгоритму роботи і програми для АССО.

Наприкінці в роботі наведено зовнішній вигляд створеного прототипу АССО, який було перевірено на точність роботи, повторюваність результатів та надійність виконання операції складання. За результатами порівняння ручного та автоматизованого складання футболок встановлено, що АССО виконує процедуру складання точно, але щонайменше на 1-2 секунди довше, ніж футболку складає людина.

При цьому при аналогічному порівнянні для складання сорочок встановлено, що АССО складає сорочки за більш однаковий час, у порівнянні з людиною. Крім того приблизно в половині випадків АССО виконує операцію складання сорочки швидше, ніж людина.

Пришвидшення процедури складання футболок в подальшому можна досягти завдяки зменшенню часу затримки між роботою сервоприводів, наприклад з 20 мілісекунд до 10 мілісекунд.

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В першому розділі було виконано огляд та аналіз існуючих методів складання одягу, а саме футболки та сорочок, які дозволили виокреслити основні характеристики автоматизованої системи складання одягу в розрізі того, які саме рухи вона повинна виконувати при складанні футболки.

Також було проведено статистичний аналіз розвитку галузі легкої промисловості як в рамках світу, так і в рамках України. За результатами аналізу встановлено, що спостерігається тенденція до розвитку галузі легкої промисловості, що підкреслює актуальність розробки автоматизованої системи для останнього етапу виготовлення одягу, а саме складання та пакування. Також в розділі наведено методологію, за якою буде проводитись дослідження в рамках написання кваліфікаційної роботи бакалавра.

В другому розділі виконано підбір обладнання для автоматизованої системи складання одягу, а саме футболки та сорочок. Обладнання складається із мікроконтролера Arduino Mega 2560, який виступає в ролі основного елементу керування, а також двох видів сервоприводів моделей MG996R та DS3225, ультразвукового датчику HC-SR04, тензодатчику та мікросхеми HX711, та трансформатору перетворення напруги з 220 В на 5 В.

Крім того в розділі наведено детальний опис розроблення конструкції установки для автоматизованого складання одягу. АССО складається із двох бокових дошок для складання, однієї нижньої, однієї середньої дошки, а також основної плити, на якій буде розташована футболка або сорочка після складання. Вертикальні дошки для складання використовуються лише у випадку складання сорочок.

У третьому розділі виконано дослідження розробленої автоматизованої системи складання одягу. Виконано моделювання руху механізмів АССО та наведено детальний опис процедури складання в залежності від того, який об'єкт знаходиться на АССО – футболка чи сорочка.

Також виконано розроблення електричної схеми підключення складових елементів АССО та виконано розроблення алгоритму роботи і програми для АССО.

Наприкінці в роботі наведено зовнішній вигляд створеного прототипу АССО, який було перевірено на точність роботи, повторюваність результатів та надійність виконання операції складання. За результатами порівняння ручного та автоматизованого складання футболок встановлено, що АССО виконує процедуру складання точно, але щонайменше на 1-2 секунди довше, ніж футболку складає людина.

При цьому при аналогічному порівнянні для складання сорочок встановлено, що АССО складає сорочки за більш однаковий час, у порівнянні з людиною. Крім того приблизно в половині випадків АССО виконує операцію складання сорочки швидше, ніж людина.

Пришвидшення процедури складання футболок в подальшому можна досягти завдяки зменшенню часу затримки між роботою сервоприводів, наприклад з 20 мілісекунд до 10 мілісекунд.

					<i>КвРАКІТ.2022100.01.08.ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Головка Д.Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: підручник / Д.Б. Головка, К.Г. Реґо, Ю.О. Скрипник. – К.: либідь, 1997. – 232 с.
2. Савка Л. В. Технологія виготовлення швейних виробів: навчальний посібник / Л. В. Савка, М. Ю. Скварок, Л. В. Білик. – Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2022. – 232 с.
3. Бондар К. І. Практикум з технології швейних виробів: Навчальний посібник / К. І. Бондар. – Хмельницький : ХНУ, 2004. – 94 с.
4. Литвин В.Г. Конструювання швейних виробів / В.Г. Литвин, А.О. Степура. – Кондор, 2023. – 320 с.
5. Легка промисловість України: стан, проблеми, перспективи економічного розвитку / За ред. професора, члена-кореспондента Академії педагогічних наук України Волкова О.І. та професора, академіка Академії економічних наук України Ю.В. Гончарова – К.: Київський національний університет технологій та дизайну, 2009. – 446 с.
6. Україна: легка промисловість. Режим доступу: https://vue.gov.ua/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0:_%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C (дата звернення: 01.02.2026).
7. Як складати футболки: повний гайд для ідеального порядку. Режим доступу: <https://netfreedom.org.ua/yak-skladaty-futbolky-povnyj-gajd-dlyaidealnogorpyadku/> (дата звернення: 03.02.2026).
8. Як складати футболки? Режим доступу: https://pngstudio.com.ua/yak-skladatyfutbolky/?srsltid=AfmBOorimug61LFD_y9JF4td8nFIT2pEqyEMX0lRQwNVLvKzMzXxwoxLs (дата звернення: 05.02.2026).

9. Сувій рейнджерів: блогер показав, як треба пакувати речі в дорогу. Режим доступу: <https://tsn.ua/lady/moda/shkola-stilya/yak-ergonomichno-sklasti-odyag-dlya-podorozhi-2643882.html> (дата звернення: 09.02.2026).

10. Батраченко Н. В. Технологія виготовлення одягу: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / Н. В. Батраченко, І. В. Заряжко. – Київ : Літера ЛТД, 2019. – 288 с.

11. Горобчишина В. С. Довідник технологічних послідовностей виготовлення одягу: Навчальний посібник / В.С. Горобчишина. – Львів: “Новий Світ – 2000”, 2020. – 292 с.

12. T-Shirts–Worldwide. Режим доступу: https://www.statista.com/outlook-/cmo/apparel/mensapparel/tshirts/worldwide?srltid=AfmBOopqqtPzVk4QwTxJLc4z5_YN3UyWFIw5XOn0LtmyWlr4qjV_dOwH#methodology (дата звернення: 15.02.2026).

13. T-shirt industry statistics and trends. Режим доступу: <https://www.printful.com/blog/t-shirt-industry-statistics> (дата звернення: 17.02.2026).

14. Топ-10 найбільших виробників одягу та взуття в Україні (дослідження). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua-retail.com/2024/07/top-vyrobnykiv-odyahu-vzuttya-v-ukrayini/> (дата звернення: 19.02.2026)

15. Статистика виробництва легкої промисловості. Режим доступу: <https://ukrlegprom.org/en/news/statystyka-vyrobnyctva-legkoyi-promyslovostizasich-enlyutyj-2020> / (дата звернення: 19.02.2026).

16. Дзьобань О.П. Методологія, організація та технологія наукових досліджень : навч. посіб. для аспірантів / О. П. Дзьобань ; ДНУ «Ін-т інформації, безпеки і права Нац. академії прав. наук України». – Київ; Одеса : Фенікс, 2025. – 284 с.

17. Добронравова І.С. Методологія та організація наукових досліджень : навч. посіб. / І. С. Добронравова, О. В. Руденко, Л. І. Сидоренко та ін. ; за ред. І. С. Добронравової (ч. 1), О. В. Руденко (ч. 2). – К. : ВПЦ "Київський університет", 2018. – 607 с.

18. Віниченко В.С. Мікропроцесорні засоби автоматики на транспорті. Навч. Посібник / В.С. Віниченко – Харків: ХДАМГ. 2002. – 215 с.

19. Любицький С.В. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньопрофесійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кіберенергетичних систем» /Укладачі: С. В. Любицький, П. В. Новіков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 77 с.

20. Пількевич І.А. Основи побудови автоматизованих систем управління: навчальний посібник / І.А. Пількевич, К.В. Молодецька, І.І. Сугоняк, Н.М. Лобанчикова. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. – 16 с.

21. Грищук Ю.С. Мікроконтролери: архітектура, програмування та застосування в електромеханіці: навчальний посібник для студентів електромеханічних спеціальностей / Ю.С. Грищук. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 384 с.

22. Павловський О.М. Мікроконтролери та мікропроцесорна техніка. Лабораторний практикум.: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.М. Павловський; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 104 с.

23. Власюк Г.Г. Основи мікропроцесорної техніки: лабораторний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / В.С.Баран, Г.Г.Власюк, Ю.О.Оникієнко, О.І.Смоленська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. –Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. –140 с.

24. Глухов О.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник для студентів ВНЗ / О.В. Глухов, О.О. Кравчук, Є.В. Левченко. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 192 с.

25. Arduino Mega 2560. Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ua/hardware/Mega2560> (дата звернення: 25.02.2026).

26. Arduino Mega 2560 Rev3. Режим доступу: [\https://docs.arduino.cc-/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf](https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf) (дата звернення: 25.02.2026).

27. Основи сервоприводу: повний посібник для початківців. Режим доступу: <https://www.jssmotor.com/uk/blog/servo-drive-basics-a-complete-beginners-guide> (дата звернення: 03.03.2026).

28. Худолій С.С. та ін. Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Сервоприводи» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 39 с.

29. Як побудований сервопривід. Принцип роботи. Режим доступу: <https://modelistam.com.ua/ua/kakustroen-servoprivod-printsip-raboty-a-164> / (дата звернення: 03.03.2026)

30. Сервопривід Towerpro MG996R високошвидкісний 360 °. Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/zapchasti-dlya-radiupravlyaemyh-modeley-150749327/p546719172/?gad_source=1&gad_campaignid=23784646290&gbraid=0AAAAACclhWMaaxmB4rs8yjEqYQvdf6_F0&gclid=CjwKCAjw5s_QBhAdEiwADD_gBtBzuefpwiSfG5T4jUoKmAD0ooBsLgEK_YQFajntjsSLBhQ3sMBjxoC_1QQAuD_BwE (дата звернення: 06.03.2026).

31. Сервопривід DS3225 25 кг 270 градусів. Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/415662081/p415662081/?gad_source=1&gad_campaignid=16901254244&gbraid=0AAAAADlXhI4vditki21vIijAgTzG_u3j&gclid=CjwKCAjw5s_QBhAdEiwADD_gButx6Pln2RhK6DCWht4sMtcAnBD5aHH0IAidVpQaBMpJwSbId6i3RoCNWkQAvD_BwE (дата звернення: 06.03.2026).

32. Осташевський М.О. Електричні машини і трансформатори: навчальний посібник / М.О. Осташевський, О.Ю. Юр'єва. – Київ, Каравела, 2018. – 452 с.

33. Понижувальний трансформатор з 220 В в 5 В. Модуль живлення постійного струму. Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p2136863349-ponizhayuschij-transformator220.html?srsId=AfmBOoo1KJdUSUr2pxasTdn2AyD4-w0FO0NZ9xr4gZW-SgEI-n63wvSI> (дата звернення: 10.03.2026).

34. Бурштинський М.В. Давачі. / М.В. Бурштинський, М.В. Хай, Харчишин Б.М. – 2-ге вид. доповн. – Львів: ТзОВ „Простір М”, 2014. – 202 с.

35. Трунов О. М. Датчики та сенсори робототехнічних систем : навч. посіб. для підготовки бакалаврів за спец. 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / О. М. Трунов. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. – 56 с.

36. Говоров П. П. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» (для студентів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; авт.: П. П. Говоров, В. П. Говоров, В. О. Перепечений, О. В. Король. – Х. : ХНАМГ, 2012. – 221 с.

37. Архелюк О.Д. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Перетворювачі та пристрої виміральної техніки» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» відділу Інфокомунікацій та інженерії. /О.Д. Архелюк – Чернівці.: ЧНУ імені Юрія Федьковича 2021. – 51 с.

38. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04. Режим доступу: https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovo-i-datchik-rasstoyaniyahcsr04?srsid=AfmBO-orFVvto3Wvy2rgpMf3rt72oResABgzA7Ge2hU5Ma_NVsfho4Pm1 (дата звернення: 17.03.2026).

39. Датчик ваги (тензодатчик) 1 кг високоточний. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1979-datchik-vesa-tenzodatchik-1-kg-visokotochnii> (дата звернення: 20.03.2026).

40. Модуль HX711 – 24-бітовий АЦП для тензодатчиків. Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/hx711-module-ad%D1%81> (дата звернення: 22.03.2026).

41. Пустюльга С.І. Інженерна графіка в SolidWorks. Навчальний посібник для студентів ВНЗ технічних спеціальностей / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.

42. Балабан С.М. Виконання електричних схем. Методичний посібник та завдання для виконання графічної та самостійної робіт студентами всіх форм навчання / С.М. Балабан, В.М. Чиж, В.В. Лесів, О.П. Мишковець. – Тернопіль, 2008. – 58 с.

43. Воробйова О.М. Основи схемотехніки. Підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – Одеса: Фенікс, 2009. – 388 с.

44. Ковалюк Т.В. Алгоритмізація та програмування. Підручник / Т.В. Ковалюк. – Львів: «Магнолія 2006», 2024. – 400 с.

45. Рудий Т.В. Алгоритмізація та програмування. Частина 1. Структурне програмування: навчальний посібник / Т.В. Рудий, Я.С. Паранчук, В.В. Сенік. – Львів: Львівський державний університет внутрішніх справ, 2023. – 240 с.

46. Приблизна вага речей. Режим доступу: <https://zenmarket.jp/ua/weight.aspx> (дата звернення: 15.05.2026).

47. Трофименко О.Г. С++. Основи програмування. Теорія і практика: підручник. / О.Г. Трофименко, Ю.В. Прокоп, І.Г. Швайко, Л.М. Буката та ін. – Одеса: Фенікс, 2010. – 544 с.

48. С++ підручник. Режим доступу: <https://w3schoolsua.github.io/cpp/index.html#gsc.tab=0> (дата звернення: 18.05.2026).

49. Манжілевський О.Д. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 105 с.

50. Лисенко О.Б. Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство, за освітньо-професійною програмою «Матеріалознавство» всіх форм навчання / Укладачі: Лисенко О.Б., Калініна Т.В. – Кам'янське: ДДТУ, 2019.– 268 с.

51. PLA, ABS, PETG: Порівняння властивостей і відмінностей пластиків. Режим доступу: https://lbl-corp.com/blog/pla-abs-petg/?srsltid=AfmBOors5v2LAN-ywoMcPS8abIN5PzXDybZn2rQipmit4f_kT2HxTzlvd (дата звернення: 23.05.2026).

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Кучерук Богдан Віталійович

Тема: Автоматизована система складання одягу

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 76

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: створено автоматизовано систему складання одягу

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі було виконано огляд та аналіз існуючих методів складання одягу, а саме футболки та сорочки. Також було проведено статистичний аналіз розвитку галузі легкої промисловості як в рамках світу, так і в рамках України. За результатами аналізу встановлено, що спостерігається тенденція до розвитку галузі легкої промисловості, що підкреслює актуальність розробки автоматизованої системи для останнього етапу виготовлення одягу, а саме складання та пакування. В другому розділі виконано підбір обладнання для автоматизованої системи складання одягу, а саме футболки та сорочки. Обладнання складається із мікроконтролера Arduino Mega 2560, який виступає в ролі основного елементу керування, а також двох видів сервоприводів моделей MG996R та DS3225, ультразвукового датчика HC-SR04, тензодатчика та мікросхеми HX711, та трансформатору перетворення напруги з 220 В на 5 В. У третьому розділі виконано дослідження розробленої автоматизованої системи складання одягу. Виконано моделювання руху механізмів ACCO та наведено детальний опис процедури складання в залежності від того, який об'єкт знаходиться на ACCO – футболка чи сорочка. Також виконано розроблення електричної схеми підключення складових елементів ACCO та виконано розроблення алгоритму роботи і програми для ACCO.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: в автоматизованій системі складання одягу не враховано можливість складання светрів, худі, кардиганів, тощо

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (D/66)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Пундик Сергій Іванович, доцент, кафедра МАЕЕС ХНУ

“ 12. ” 06 2026 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки
Людмилі КОРЕЦЬКІЙ
здобувача вищої освіти
Кучерук Богдан Віталійович
факультет ІТ, курс IV, група АКІТ-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2026
дата

БК
підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Богдан КУЧЕРУК

Співавтор:

Назва: Кучерук Б. (на антиплагіат)

Експерт: Денис МАКАРИШКІН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 0.4%

Коефіцієнт подібності 2: 0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 2

Дата створення звіту: 2026-06-13 20:03:32.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☒ Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

☐ Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

☐ Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-13  Доцент Микола Федула

Дата експерт

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 3.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 10%

ID: 275074 Title: БКР Автоматизована система складання одягу Added in a DB: 2026-06-13 Authors: Богдан КУЧЕРУК Heads: Денис МАКАРИШКІН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	81695	1204	4054 (5%)	58 (5%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система складання одягу»

Автор Кучерук Богдан Віталійович

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Науковий керівник: Макаришкін Денис Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т. ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є академічним плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальновживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках, у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0.44% і адресується до 31 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 13.06.2026р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Людмила КОРЕЦЬКА

Юрій ФОРКУН

Денис МАКАРИШКІН