

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра виробництва приладів
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 658.512:658.52.011.56

«До захисту допущено»

В.О. завідувача кафедри ВП
_____ В.В. Шевченко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 151 - Комп'ютерно інтегровані технології виробництва
приладів
(код і назва)

на тему: Підвищення ефективності управління малосерійним складальним
виробництвом електромеханічних приладів

Виконав : студент II курсу, групи ПБ-61м
(шифр групи)

Сусли Дмитро Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н доцент Стельмах Н.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант розроблення стартап-проекту к.е.н., доцент, Бояринова К.О.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

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

Факультет
(повна назва)

Приладобудівний

Кафедра
(повна назва)

Виробництва приладів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 151 – Комп'ютерно інтегровані технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. завідувача кафедри

_____ Шевченко В.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Суслі Дмитру Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Підвищення ефективності управління малосерійним складальним виробництвом електромеханічних приладів _____, науковий керівник дисертації Стельмах Наталія Володимирівна к.т.н доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: механоскладальне виробництво

4. Предмет дослідження: технологічність складального виробу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розглянути структуру механоскладального виробництва. Розробити метод пошуку мінімальної кількості деталей складального виробу, необхідної для забезпечення кінематичних функцій механізму. Дослідити обмеження на інтеграцію деталей та можливості їх аналізу. Розробити метод автоматизованого підвищення технологічності складального виробу. Розробити стартап-проект, для можливого представлення продукту на ринку.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу презентація, форма 2б, акт впровадження.

7. Орієнтовний перелік публікацій Статті та тези доповідей за темою магістерської дисертації (надано в Додатку в вигляді Форми 2б) _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проект	Бояринова К.О. к.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	05.03.18	
2	Огляд і аналіз літератури за напрямком дослідження	10-18.03.18	
3	Аналіз стану приладобудування в Україні	19-23.03.18	
4	Аналіз складального виробництва електро-механічних приладів	23.-30.03.18	
5	Розробка математичної моделі	2-6.04.18	
6	Розробка рекомендацій до методики	10-13.04.18	
7	Експериментальні дослідження	13.04-30.04.18	
8	Оформлення магістерської дисертації	07.05.18	
9	Представлення МД на перевірку науковому керівнику	08.05.18	
10	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unicheck	09.05.18	
11	Представлення МД на рецензію	10.05.18	
12	Представлення МД на затвердження завідуючим кафедрою	11.05.18	
13	Передача електронної версії МД до бібліотеки	17.05.18	
14	Представлення МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ імені Ігора Сікорського»	18.05.18	

Студент

(підпис)Сула Д.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)Стельмах Н.В.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить: 94 сторінок, 12 рисунків, 26 таблиць, 30 літературних джерел.

Актуальність роботи. Сучасний приладобудівний комплекс України функціонує в умовах військово-політичної та економічної нестабільності і для виходу з такого нестабільного становища потрібно впроваджувати механізми підвищення ефективності виробництва з мінімальними затратами та підвищенням якості для створення конкурентоспроможної продукції.

На сьогоднішній день, одним з найбільш ефективних інструментів скорочення затрат, пов'язаних із складальним виробництвом, є використання методів підвищення технологічності виробу на основі складально-орієнтованого проектування його конструкції.

Наразі методи аналізу конструкцій здебільшого існують у вигляді автономних процедур, які не повною мірою використовують існуючі моделі складального виробу і процесів складання і є орієнтованими на отримання початкових і проміжних даних від людини, що не відповідає сучасній концепції автоматизації та інтеграції засобів підтримки життєвого циклу виробу.

Тому актуальною є науково-технічна задача підвищення ефективності механоскладального виробництва шляхом підвищення технологічності виробів.

Мета магістерської дисертації – Підвищення ефективності малосерійного складального виробництва на основі методів складально-орієнтованого проектування, що дозволить підвищити технологічність виробів

Задачі дослідження:

1. Розглянути структуру механоскладального виробництва.
2. Розробити метод пошуку мінімальної кількості деталей складального виробу, необхідної для забезпечення кінематичних функцій механізму.
3. Дослідити обмеження на інтеграцію деталей та можливості їх аналізу.

4. Розробити метод автоматизованого підвищення технологічності складального виробу.

5. Розробити стартап-проект, для можливого представлення продукту на ринку.

Об'єкт дослідження – механоскладальне виробництво.

Предмет дослідження – технологічність складального виробу.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Математичний опис складання було розроблено як послідовний набір елементів конструкції та технології складання, представлені у вигляді матриць виробничої послідовності з додаванням технологічних векторів, показниками економічної ефективності, які разом складають конструкторські і технологічні рішення, придатні для прогнозування оцінка ефективності його виробництва.
2. Вперше були структуровані обмеження інтеграції частин складального продукту в групи функціональних та технологічних процесів.
3. Виконано оцінку відсутності відносного переміщення між групою компонентів, які будуть інтегровані, виходячи з виділення функціонально необхідних частин і кінематичних ланцюгів складального продукту відповідно до моделі.

Практичне значення:

Було розроблено новий підхід до вирішення проблеми підвищення ефективності управління складальним виробництвом за рахунок зміни конструкції виробу.

ABSTRACT

The master's dissertation contains: 94 pages, 12 figures, 26 tables, 30 references.

Urgency of work: Modern instrument-making complex of Ukraine operates in conditions of military-political and economic instability, and in order to get out of this crisis situation it is necessary to apply mechanisms of increasing the efficiency of production with minimal expenses and improving the quality for creation of competitive products.

To date, one of the most effective tools for reducing the costs associated with assembly production is the application of methods for improving the product's productivity on the basis of assembly-oriented design of its design.

At present, methods for analyzing designs mostly exist in the form of autonomous procedures that do not fully utilize existing assembly models and assembly processes and are oriented to obtaining initial and intermediate data from a person that does not meet the current concept of automation and the integration of means of product lifecycle support.

Therefore, the scientific and technical task of increasing the efficiency of mechanical assembly production by increasing the productivity of products is relevant.

The purpose of the master's thesis is to increase the efficiency of small-scale assembly production on the basis of assembly-oriented designing methods, which will allow to increase the productivity of products.

Research objectives:

1. Consider the structure of mechanical assembly.
2. To develop a method of finding the minimum number of parts of the assembly product necessary to ensure the kinematic functions of the mechanism.
3. Explore the limitations on the integration of details and the possibilities of their analysis.
4. To develop a method of automated production process improvement of an assembly product.
5. Develop a startup project for the possible presentation of a product on the market.

The object of the research - mechanical assembly.

The subject of research is the feasibility of an assembly product.

Scientific novelty of the obtained results:

1. The mathematical description of the assembly was developed as a consecutive set of construction elements and assembly technologies, presented in the form of matrices of production sequence with the addition of technological vectors, indicators of economic efficiency, which together make design and technological solutions that are suitable for forecasting the assessment of its production efficiency.

2. For the first time, there were structured restrictions on the integration of parts of the assembly product into groups of functional and technological processes.

3. An estimation of absence of relative movement between a group of components, which will be integrated, based on allocation of functionally necessary parts and kinematic chains of assembly product in accordance with the model is executed.

Practical meaning:

A new approach was developed to solve the problem of improving the management of assembly production by changing the design of the product.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	13
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. ПЕРЕДУМОВИ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРИСТОСОВАНOSTІ ВИРОБУ ДО ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ	16
1.1 Стан приладобудування в Україні.....	16
1.2 Етапи виробництва.....	20
1.3 Комп'ютерні технології у виробництві приладів	23
1.4 Технологія складання виробів	23
1.5 Продуктивність праці	30
1.6 Методи аналізу та підвищення пристосованості виробу до процесів складання	31
Висновки до розділу.....	36
РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ СКЛАДАЛЬНИХ ВИРОБІВ.....	38
2.1. Інформаційне забезпечення, необхідне для проведення аналізу пристосованості виробу до складання	38
2.2. Моделювання конструкторсько-технологічного рішення	40
2.2.1. Математичне представлення об'єкту складання.....	40
2.2.2. Математичне представлення процесу складання.....	44
2.3. Загальний порядок аналізу виробу з метою підвищення його пристосованості до складання	49
2.3.1. Процедура цілеспрямованого скорочення кількості деталей СВ.....	50
2.3.2. Спрощення конструкції шляхом заміни з'єднань.....	54
2.3.3. Підвищення технологічності окремих деталей та всієї конструкції.....	56
2.4. Порядок аналізу та вибір варіанту конструкції виробу	56
Висновки до розділу	60

3. СИНТЕЗ НОВОГО КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВИРОБУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ПРИСТОСОВАНOSTІ ДО ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ.....	62
Висновки до розділу	70
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ МАЛОСЕРІЙНИМ СКЛАДАЛЬНИМ ВИРОБНИЦТВОМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИЛАДІВ»	71
4.1 Опис ідеї проекту	71
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	74
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	75
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту	85
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	88
Висновки до розділу	92
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	95
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БВОР – бінарні відношення обмеження рухливості

ВА – вектор атрибутів

ЗЗЦ – з'єднання, що забезпечує цілісність

КП – кінематична пара

КТР – конструкторсько-технологічне рішення

МПС – матриця послідовності складання

ПС – послідовність складання

ПТС – проектування технології складання

ТПВ – технологічна підготовка виробництва

САПР – система автоматизованого проектування

СО – складальна одиниця

ТПС – технологічний процес складання

DFA – конструювання, орієнтоване на складання

DFM – конструювання, орієнтоване на виробництво

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку приладобудування успішно реалізовані засоби автоматизації: проектування виробу (CAE, CAO системи), проектування технологічних процесів оброблення (CAM системи), оброблення (CKC системи) і планування виробництва (CAPP системи). В той же час, рівень автоматизації технологічного підготовки виробництва (CAPE системи), зокрема складального, суттєво відстає від вище зазначених систем. Ще одним суттєвим фактором є те, що прогрес в підвищенні продуктивності складання виробів стримується тим, що, на відміну від операцій механічного оброблення, у складанні допоміжний час домінує над основним часом операції. Чимало часу витрачається на транспортування, орієнтування, базування і закріплення деталей перед складанням, а сам процес реалізації з'єднання часто виконується дуже швидко (встановлення, впресовування, клепання, загвинчування, точкове або контактне зварювання). Суттєвими є також витрати часу на допоміжні операції - регулювання, контролю, тестування тощо. Зазначені обставини призводять до зростання відносної частки складальних процесів у загальних витратах праці, виробничому часі та собівартості виробу.

Одним з інструментів підвищення ефективності складального виробництва є застосування великої кількості високопродуктивного допоміжного обладнання з метою скорочення допоміжного часу. Такий шлях виявляється доволі дорогим, так як типаж і перелік необхідного обладнання суттєво залежить від конструктивної реалізації конкретного виробу.

Іншим, більш ефективним, інструментом скорочення витрат, пов'язаних із складальним виробництвом, є створення конструкцій, в яких враховані вимоги і обмеження процесів складання без втрати значущих показників якості і функціональності самого виробу. Пристосованість конструкції до вимог технологічних процесів виготовлення прийнято визначати терміном «технологічність» і, якщо аналіз технологічності конструкції з точки зору процесів оброблення суттєво видозмінив свій сенс завдяки появі високопродуктивного

обладнання з ЧПК, нових різальних інструментів, то для процесів складального виробництва він стає все більш актуальним.

Очевидно, що такого роду аналіз має бути частиною системи автоматизованого технологічного підготовки складального виробництва, яка, в свою чергу, може бути інтегрована з іншими системами підтримки життєвого циклу виробу.

Основи функціонування підсистеми відпрацювання деталей та вузлів на технологічність були закладені під час розроблення основних принципів побудови автоматизованих систем технологічного підготовки виробництва в наукових працях А.П. Гавриша, А.А. Гусева, Н.М. Капустіна, В.С. Корсакова, М.П. Новікова, Л.С. Ямпольського. В ті часи вважалося, що така підсистема має бути поєднана інформаційними зв'язками тільки з підсистемою автоматизованого проектування технологічних процесів. Сучасною тенденцією є дослідження технологічності виробу в процесі його конструювання.

Дослідженнями Амірова Ю.Д., Яновського Г.А., Павлова В.В., Ніколаєнко А.И. визначені показники кількісної оцінки технологічності та методи їх розрахунку. Питання впливу особливостей конструкції виробу на технологічні процеси його складання знайшли своє відображення в роботах: В.К. Замятіна, А.С. Зенкіна, С.В. Лапковського, А.І. Коршунова, М.Е. Попова, А. М. Попова, А.Г. Холодкової.

На сьогоднішній день дослідженням питань автоматизації складальних процесів та підвищення технологічності складальних виробів займається чимало науковців, серед них: И.П. Гамаюн, М.В. Захаров, А. Гонсалес-Сабатер, В. А. Кирилович, В.М. Кореньков, Е.В. Коноплянченко, В. А. Пасічник, А.В. Пастуховський, А. А. Павлова, О.С. Самсонов, Н.В. Стельмах, Я.І. Чибіряк, І.С. Ямшанов. За кордоном вирішення даної задачі носить більш прикладний характер, найбільш відомими є роботи Barnes C.J., Boothroyd G., Fujimoto H., Homen de Mello L.S., Sanderson A.C., Graham J., Swift K., Knight W. та ін.

РОЗДІЛ 1. ПЕРЕДУМОВИ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРИСТОСОВАНOSTІ ВИРОБУ ДО ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

1.1 Стан приладобудування в Україні

Однією з важливих ознак сучасного розвитку української держави є спрямованість економіки на підвищення конкурентоспроможності підприємств, модернізацію виробництва, впровадження нових технологій та устаткування. Провідна роль у цих процесах належить галузі приладобудування, що випускає засоби вимірювання, аналізу, обробки і представлення інформації, пристрої регулювання, автоматичні і автоматизовані системи управління. За рівнем наукомісткості ця галузь повинна залишатись провідною галуззю вітчизняного виробництва. Виробництво сьогодні у сфері приладобудування в загальному експорті не перевищує 5%.

Приладобудування включає в себе створення будь-яких машин, механізмів, агрегатів і пристроїв, які можуть бути віднесені до класу приладів. Це різні вимірювальні, навігаційні, медичні та побутові прилади, комп'ютерна техніка, прилади систем управління, радіoeлектронні вироби та ін. Продукцію сучасного приладобудування відрізняють підвищені вимоги до якості і точності виготовлення.

За часів СРСР приладобудування було представлене державними потужними заводами, науково-дослідними інститутами, конструкторськими бюро, проектними інститутами, лабораторіями, які здійснювали проектування, виробництво та випробування приладів. Підпорядкування приладобудівних підприємств різним державним відомствам перешкоджало широкому розповсюдженню інновацій, науково-технічних ідей, досвіду, накопиченого вченими і виробниками. Внутрішньогалузева таємність і монополізм обмежували плідність співробітництва, виключали конкуренцію галузевої науки з академічними і вузівськими її секторами. Не відбувалося обміну досвідом із закордонними представниками галузі приладобудування. Технічна відсталість промисловості України, високий рівень

фізичної праці у галузі стали наслідком недалекоглядної політики, а не відсутності інтелектуального потенціалу чи новітніх технологій.

Після здобуття Україною незалежності та переходу до ринкової економіки в приладобудівній галузі відбулися такі зміни:

✓ багато великих підприємств розпалися через відсутність попиту на їх продукцію;

✓ деякі підприємства продовжують працювати, але випускають значно менший товарний асортимент, часто здійснюють серійне виробництво продукції на замовлення чи тільки сервісне обслуговування раніше випущеної продукції, яка в умовах ринкової економіки не завжди є конкурентоспроможною;

✓ за допомогою колишнього кадрового потенціалу створилися малі та середні приватні підприємства, ТОВ, акціонерні товариства, які значною мірою мають напрямок науково-виробничої діяльності, володіють інтелектуальним потенціалом для розробки і впровадження інновацій.

Нині підприємства приладобудування характеризуються:

- неефективністю виробництва;
- низькою якістю продукції, яка не може конкурувати з іноземними виробниками;
- застарілістю технічного та технологічного забезпечення;
- низьким рівнем рентабельності;
- відсутністю власних коштів для фінансування діяльності та недостатністю обігових коштів;
- недосконалістю механізмів середньо- та довгострокового кредитування;
- високою вартістю кредитних ресурсів;
- нерозвиненістю ринкової інфраструктури;
- низьким кадровим потенціалом

Все це зумовлює низький рівень капітальних інвестицій та відсутність оборотних коштів, необхідних для розвитку підприємств.

Аналіз статистичних даних свідчить про стабільність діяльності основних підсекцій галузі, проте у кризовий 2010 рік спостерігалася спадаюча динаміка в показниках інноваційної активності та прибутковості.

Зниження обсягів господарських операцій підприємств виявляється в зростанні боргів, нестачі грошових засобів, зростанні простроченої кредиторської заборгованості, зростанні кількості збиткових підприємств.

Зазначимо, що найбільш успішною діяльністю підприємств приладобудування була у 2011—2012 роках, коли кількість збиткових підприємств становила в середньому 30%, тоді як у попередніх роках частка збиткових підприємств була значно більшою. Відповідно до статистичних даних [1] така негативна тенденція збереглася і у наш час, а питома вага збиткових підприємств приладобудівної галузі становила близько 33%. Зменшенню прибутковості підприємств приладобудівної галузі України сприяло і зменшення обсягу виробництва продукції.

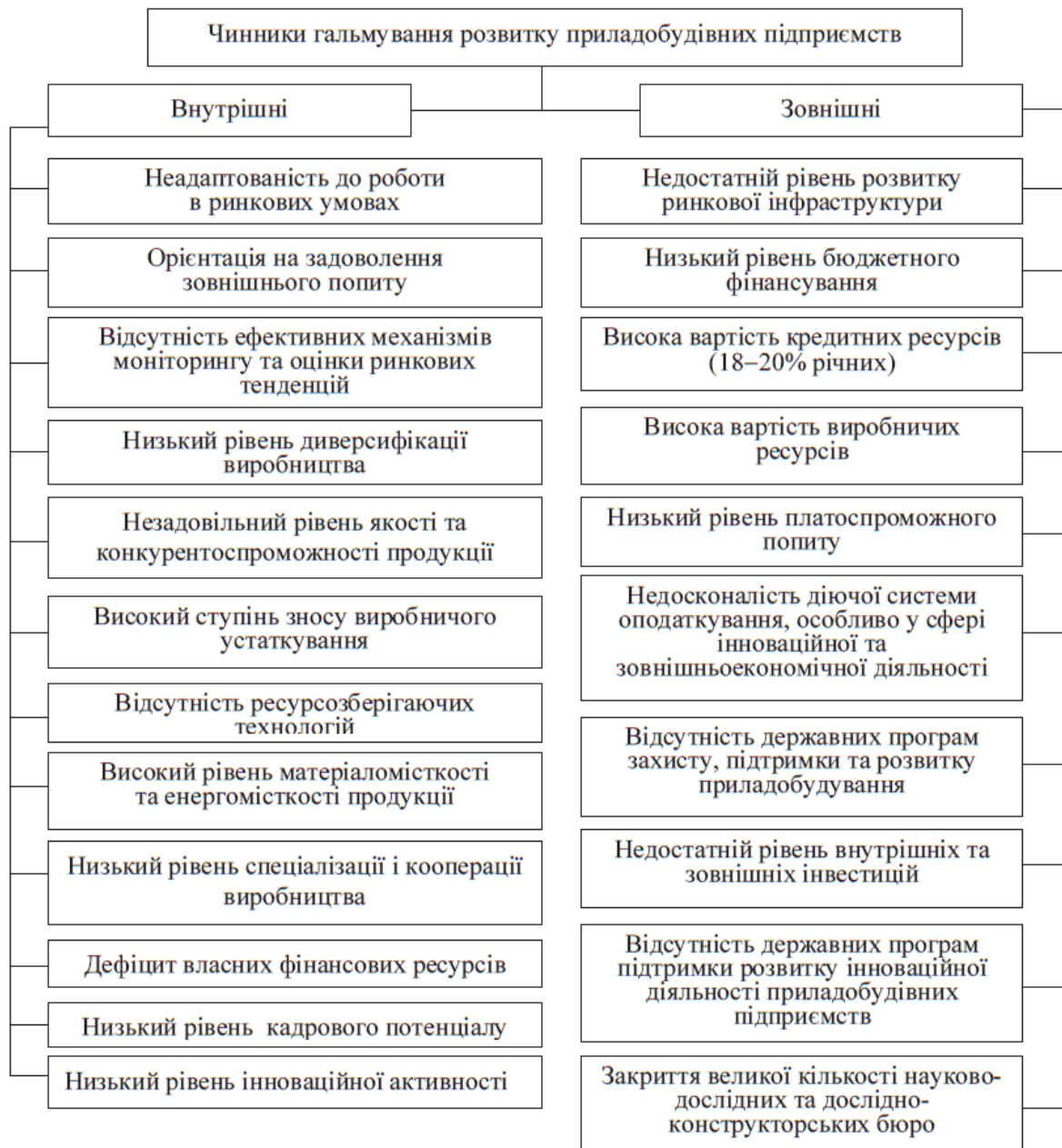


Рисунок 1.1 - Чинники гальмування розвитку приладобудівних підприємств України

Така недосконалість інноваційної політики в машинобудуванні та приладобудуванні гальмує процес створення конкурентоспроможної продукції і, як наслідок, — неспроможність забезпечити інші галузі економіки високоефективною власною продукцією, зайняти певну нішу світового машинобудування. Щоб змінити ситуацію на краще потрібні великі кошти, більшість яких повинна бути інвестиціями.

Сучасному машинобудівному комплексу України доводиться функціонувати в умовах воєнно-політичної та економічної нестабільності і для виходу з цього кризового становища необхідно застосовувати ефективні механізми господарювання. Слід акцентувати на діях, спрямованих на поліпшення структури ресурсного потенціалу машинобудівних підприємств, зокрема приладобудівних. Насамперед це стосується його інноваційної складової, що може надати значну допомогу в підвищенні конкурентоспроможності підприємств і їх продукції, інвестиційній привабливості [1].

1.2 Етапи виробництва

Процес створення будь-якого нового виробу основного виробництва включає в себе ряд послідовних етапів.

1. Пошукове проектування. На цьому етапі проводиться аналіз потреби ринку в даному виробі, досліджуються конкуруючі аналоги, оцінюються часові та фінансові витрати для початку виробництва виробу, планується серійність (річний обсяг випуску) виробу і встановлюються його основні технічні характеристики, оцінюється можливий прибуток підприємства.

2. Конструювання. На даному етапі здійснюється детальна розробка конструкції виробу.

3. Технологічна підготовка виробництва. Даний етап складається в забезпеченні технологічної готовності підприємства до випуску даного виробу, при дотриманні вимог до якості, термінів і обсягів випуску, а також з урахуванням запланованих витрат.

4. Створення дослідного зразка. Цей етап має на меті перевірку якості прийнятих конструкторських і технологічних рішень шляхом випробувань дослідного зразка виробу.

5. Освоєння малосерійного виробництва. На даному етапі підприємство повинно вийти на намічені обсяги випуску виробу, стабілізувати якість продукції і домогтися заданої трудомісткості на всіх стадіях виробництва.

Етапи створення конкретного нового виробу можуть виконуватися як одним, так і кількома підприємствами. Це залежить від складності виробу, від можливостей

даного підприємства і від структури промислового виробництва в цілому. Так, в західній промисловості, поряд з великими підприємствами успішно функціонує велика кількість малих фірм, які можуть або спеціалізуватися на певних видах кінцевої продукції, або брати участь у виробничому ланцюжку випуску складних виробів на основі кооперації. У вітчизняному приладобудуванні число малих фірм відносно небагато, основний обсяг продукції випускається великими або середніми підприємствами. При цьому, як правило, конструювання нових виробів здійснюється спеціалізованими конструкторськими організаціями, а технологічна підготовка виробництва і власне виробництво - незалежними від конструкторських організацій підприємствами-виробниками.

Етапи створення нового виробу є елементами життєвого циклу виробу (ЖЦВ), який охоплює всі стадії життя виробу - від вивчення ринку перед проектуванням до утилізації виробу після використання.

При створенні вироби прагнуть не тільки досягти високого технічного рівня, а й максимально можливо знизити витрати праці, матеріалів і енергії на його проектування, виробництво, експлуатацію та утилізацію. Все це характеризує виріб як об'єкт виробництва.

Конструкція виробу в першу чергу визначається його функціональним призначенням. Однак, конструктивне виконання виробу може бути різним, при цьому будуть різними і витрати ресурсів. Ця різниця і є результатом різного рівня технологічності виробу.

Технологічність - це сукупність властивостей виробу, що визначають пристосованість його конструкції до досягнення оптимальних витрат ресурсів при його виробництві, ремонті та утилізації.

Слід підкреслити, що технологічність конструкції виробу відображає не функціональні властивості виробу, а властивості його як об'єкта виробництва і експлуатації.

Виріб можна вважати технологічним, якщо він не тільки відповідає сучасному рівню техніки, економічно і зручно в експлуатації, але в ньому враховані і

можливості застосування найбільш економічних, продуктивних процесів виготовлення, ремонту і утилізації [2].

З іншого боку, технологічність - поняття відносне, так як при різній програмі випуску вироби технології виготовлення і ремонту істотно розрізняються.

Види технологічності визначаються ознаками, що характеризують область прояви властивостей технологічності вироби. Розрізняють виробничу і експлуатаційну види технологічності конструкції. Виробнича технологічність конструкції виробу забезпечується за рахунок скорочення витрат коштів і часу на конструкторську підготовку виробництва (КПВ); технологічну підготовку виробництва (ТПВ); і процеси виготовлення.

Експлуатаційна технологічність конструкції вироби виражена в скороченні витрат коштів і часу на технічне обслуговування і ремонт вироби.

Основні фактори, на базі яких, формуються вимоги до технологічності конструкції вироби, характеризуються конструктивно-технологічними ознаками виробу, обсягом випуску і типом виробництва.

Тип визначає головні конструктивно-технологічні ознаки, що обумовлюють характерні вимоги до технологічності конструкції.

Процеси виготовлення, ремонту і утилізації пред'являють свої вимоги до конструкції виробу, які можуть суперечити один одному.

Коли конструкція стає об'єктом виробництва, при розрахунку на технологічність враховуються:

- Види заготовок і методи їх отримання;
- Види і методи обробки;
- Види і методи складання;
- Види і методи контролю, випробування;
- Можливість використання типових технологічних процесів;
- Можливість механізації та автоматизації процесів виготовлення і технологічної підготовки виробництва;
- Умови матеріального забезпечення виробництва;
- Потрібна кваліфікація робочих кадрів.

Сучасне приладобудування характеризується широким спектром проектних робіт, складністю конструкції, стислими термінами виконання замовлень, посиленням конкурентної боротьби на ринку. Все це змушує проводити роботи на сучасному технічному рівні, тому конструювання, аналіз, технологічна підготовка виробництва здійснюється з використанням інтегрованих систем автоматизованого проектування (САПР).

Основні сьгоднішні проблеми ТПВ у вітчизняному приладобудуванні полягають у наступному:

- Проектування в багатьох випадках носить ручної характер, застосовані засоби автоматизації використовуються для вирішення лише окремих завдань, немає комплексного характеру автоматизації;
- Комунікації між фахівцями і службами ТПВ здійснюються в основному на паперових носіях, що призводить до загального сповільнення всіх процесів ТПВ;
- Рішення задач забезпечення технологічності конструкції починається на пізніх стадіях проектування виробу, що призводить до численних змін в конструкторській документації;
- Допускається велике число помилок при проектуванні, наслідком чого є значні фінансові та часові витрати на проведення необхідних змін;
- Відсутня ефективна спеціалізація і кооперація з іншими підприємствами при вирішенні завдань ТПВ. [3]

В результаті затягуються терміни запуску нових виробів у виробництво, невиправдано збільшуються витрати, якість виробів помітно поступається західним зразкам.

1.3 Комп'ютерні технології у виробництві приладів

Створення складних виробів - тривалий процес проектування, що складається з декількох стадій і послідовних наближень до остаточного варіанту, дорогий цикл технологічної підготовки виробництва. У цьому процесі бере участь безліч різних фахівців - керівників, ідеологів, конструкторів, розраховувачів, технологів. І завдання впровадження комп'ютерної технології проектування виробництва полягає

не в тому, щоб скоротити терміни і витрати при проектуванні і технологічної підготовки виробництва, а також підвищити якість виробів. На стадії проектування важливо по можливості скоротити число ітерацій і викликаних ними переробок конструкції, відмовитися від частини натурних випробувань і макетування. На стадії технологічної підготовки комп'ютерна технологія повинна забезпечити скорочення термінів і витрат за рахунок можливості створювати оснащення, не чекаючи повного закінчення процесу проектування, за рахунок виключення проміжних носіїв геометрії і ручного доведення, за рахунок підвищення точності і забезпечення взаємозамінності. Таких результатів можна досягти тільки в тому випадку, коли система забезпечує взаємодію всіх учасників в єдиному, організованому, доступному і достовірному інформаційному просторі, коли система дає можливість працювати в зовсім новому режимі комп'ютерної технології.

Моделювання являє собою один з основних методів пізнання, є формою відображення дійсності і полягає в з'ясуванні або відтворення тих чи інших властивостей реальних об'єктів, предметів і явищ за допомогою інших об'єктів, процесів, явищ, або за допомогою абстрактного опису у вигляді зображення, плану, карти, сукупності рівнянь, алгоритмів і програм.

Можливості моделювання, тобто перенесення результатів, отриманих в ході побудована дослідження моделі, на оригінал, засновані на тому, що модель в певному сенсі відображає (відтворює, моделює, описує, імітує) деякі цікаві для дослідника риси об'єкта. Моделювання як форма відображення дійсності широко поширене, і досить повну класифікацію можливих видів моделювання вкрай скрутна, хоча б в силу багатозначності поняття «модель», широко використовується не тільки в науці і техніці, але мистецтві, і в повсякденному житті. Проте, стосовно природничих і технічних наук прийнято розрізняти такі види моделювання:

- концептуальне моделювання, при якому сукупність вже відомих фактів або подань щодо досліджуваного об'єкта або системи тлумачиться за допомогою деяких спеціальних знаків, символів, операцій над ними або допомогою природного або штучного мов;

- фізичне (натурне) моделювання, при якому модель і модельований об'єкт є реальні об'єкти або процеси єдиної або різної фізичної природи, причому між процесами в об'єкті-оригіналі і в моделі виконуються деякі співвідношення подібності, що впливають з схожості фізичних явищ;

- структурно-функціональне моделювання, при якому моделями є схеми (блок-схеми), графіки, креслення, діаграми, таблиці, малюнки, доповнені спеціальними правилами їх об'єднання і перетворення;

- математичне (логіко-математичне) моделювання, при якому моделювання, включаючи побудову моделі, здійснюється засобами математики і логіки;

- імітаційне (комп'ютерне) моделювання, при якому логіко-математична модель досліджуваного об'єкта є алгоритм функціонування об'єкта, реалізований у вигляді програмного комплексу для комп'ютера. [4]

Зрозуміло, перераховані вище види моделювання не є взаємовиключними і можуть застосовуватися при дослідженні складних об'єктів або одночасно, або в деякій комбінації. Крім того, в деякому сенсі концептуальне і, скажімо, структурно-функціональне моделювання невиразні між собою, так як блок-схеми, звичайно ж, є спеціальними знаками до встановлених операціями над ними.

Традиційно під моделюванням на ЕОМ розумілося лише імітаційне моделювання. Можна, однак, побачити, що і при інших видах моделювання комп'ютер може бути вельми корисний. Наприклад, при математичному моделюванні виконання одного з основних етапів - побудова математичних моделей за експериментальними даними - в даний час просто немислимо без комп'ютера. В останні роки, завдяки розвитку графічного інтерфейсу і графічних пакетів, широкий розвиток отримало комп'ютерне структурно-функціональне моделювання, про який докладно поговоримо нижче. Покладено початок залучення комп'ютера навіть до концептуального моделювання, де він використовується, наприклад, при побудові систем штучного інтелекту.

Таким чином, ми бачимо, що поняття «комп'ютерне моделювання» значно ширший за традиційні поняття «моделювання на ЕОМ» і потребує уточнення, що враховує сьогоденні реалії.

Комп'ютерне моделювання - метод вирішення задачі аналізу або синтезу складної системи на основі використання її комп'ютерної моделі. Суть комп'ютерного моделювання укладена в отриманні кількісних і якісних результатів за наявною моделі. Якісні висновки, одержувані за результатами аналізу, дозволяють виявити невідомі раніше властивості складної системи: її структуру, динаміку розвитку, стійкість, цілісність та ін. Кількісні висновки в основному носять характер прогнозу деяких майбутніх або пояснення минулих значень змінних, що характеризують систему. [5]

Комп'ютерне моделювання технологічного процесу багато в чому прискорює процес виготовлення деталей за рахунок виявлення та усунення можливих помилок на етапах конструювання, підготовки виробництва і виготовлення виробу. Оптимізація раніше створених технологічних процесів необхідна в силу довгострокового їх використання і прагнення до зменшення витрат на виробництво.

На сьогоднішній час широкого застосування на виробництві набули засоби автоматизації:

- Проектування виробу (CAE, CAD);
- Проектування технологічних процесів обробки (CAM);
- Обробка (CNC);
- Планування виробництва (CAPP).

Попри такий високий рівень автоматизації зазначених систем, автоматизація технологічної підготовки виробництва, а саме складальних процесів значно відстає.

1.4 Технологія складання виробів

Процес складання є заключним етапом виготовлення виробу, що визначає в значній ступені її експлуатаційні якості. Процес виготовлення може гарантувати досягнення усіх необхідних її експлуатаційних показників, а також надійності і довговічності в експлуатації лише при умові високоякісного проведення усіх етапів складання (тобто складання і регулювання окремих складаних одиниць – вузлів і загального складання і випробовування виготовленого виробу в цілому).

Це пов'язано з тим, що в процесі складання по різних причинах можуть виникати похибки взаємного розташування деталей, які суттєво знижують точність і службові якості виробу, що складається.

Трудомісткість складання складає 25 ... 35 % загальної трюдомісткості виготовлення виробів, а при великому обсязі припасовувальних робіт (в одиничному і дрібносерійному виробництві) вона досягає 40 ... 50 %.

Складальні цехи в цій стадії є провідними, так як вони завершують цикл виготовлення виробів і визначають терміни випуску продукції на попередніх стадіях, роблять значний вплив на ритмічність виробництва на підприємстві. Важливою особливістю складальних цехів є те, що на етапі складання вартість незавершеного виробництва наближається до граничної величини - собівартості готової продукції. Тому скорочення тривалості циклу складання забезпечує не тільки прискорення оборотності оборотних коштів, а й найбільш ефективне використання виробничих площ.

Технологія складання передбачає з'єднання і забезпечення правильного взаємного розташування і взаємодії деталей і складальних одиниць. У цехах одиничного і дрібносерійного виробництва поряд з чисто складальними операціями можуть виконуватися і інші технологічні операції (додаткова механічна обробка деталей, слюсарні операції і т.п.). З технологічної точки зору різні складальні операції мають багато спільного, що дозволяє використовувати універсальну технологічне оснащення, типові технологічні процеси і форми організації складальних процесів. Крім того, створюються сприятливі умови для впровадження поточкових методів організації. Складальні процеси характеризуються високою питомою вагою ручних робіт і, як правило, застосуванням універсального технологічного устаткування. [7]

Тому технологічні процеси механічної обробки завжди підпорядковуються технології складання. Тільки розглядаючи виріб в цілому, можна визначити службове призначення кожної окремої деталі, встановити необхідну ступінь точності і шорсткості, призначити вимоги до поверхневого шару, визначити

граничні відхилення геометричної форми, тобто призначити технічні умови на виготовлення і складання [6].

Висока трудомісткість і тривалість циклу складання роблять актуальною проблему автоматизації складальних робіт.

Автоматизація складання дозволяє:

- 1) підвищити якість продукції;
- 2) підвищити продуктивність праці;
- 3) вивільнити велику кількість робітників;
- 4) скоротити обсяг фізичної праці.

У складальних цехах переважає ручна праця. На сьогодні механізовано в середньому близько 25% і автоматизовано близько 5% складальних робіт. Рівень автоматизації в складальних цехах нижче рівня автоматизації в заготівельних і обробних. На складанні важких об'єктів велика плінність робочої сили. На складанні складних виробів - багато кваліфікованих високооплачуваних робочих. Це призводить до того, що собівартість виконання складання нерідко досягає собівартості механічної обробки деталей виробу. Під технологічним процесом автоматичного складання виробу або складальних одиниць розуміють частину виробничого процесу, що виконується в автоматичному режимі на окремій машині або лінії. До складу автоматичного складання можуть входити різні за характером технологічні операції і прийоми, що виконуються в певній послідовності і пов'язані єдністю поставленого завдання і єдністю організації виробництва. Таким чином, автоматичне прибирання являє собою технологічний процес, в якому всі основні і допоміжні роботи по збірці виробу, а також транспортування виробу, що збирається і що входять в його склад деталей в процесі складання виконуються без безпосередньої участі робітника. Ознакою, що визначає автоматичне складання, є відсутність робочого, безперервно пов'язаного зі складанням виробу. Існують чотири ступені механізації та автоматизації складання виробів [7].

1. Часткова механізація, при якій механізовані засоби застосовуються на окремих складальних операціях, а основна частка роботи проводиться вручну найпростішим немеханізованим інструментом.

2. Комплексна або всебічна механізація, при якій всі основні робочі операції виконуються механізованими інструментами і пристосуваннями.

3. Часткова автоматизація, при якій частина процесів складання здійснюється із застосуванням автоматизованих технічних засобів, а інші роботи виконуються операторами-збирачами з використанням механізованих інструментів і пристосувань.

4. Комплексна автоматизація, що представляє собою вищу форму механізації збирання; на цьому ступені всі робочі операції, а також операції регулювання сполучень і контролю зібраних вузлів і виробів виконуються машинами-автоматами під наглядом невеликої кількості операторів.

Автоматизація складання забезпечує підвищення якості виробів, так як вплив суб'єктивного фактора частково або повністю усувається, збільшення продуктивності праці (іноді в десятки разів), зменшення собівартості складальних робіт, вивільнення робочих (зазвичай в кілька разів), полегшення і оздоровлення умов праці, зменшення виробничих площ (особливо при складанні малогабаритних виробів).

Автоматизація розширює технологічні можливості складання. На автоматах можна збирати такі вироби, складання яких вручну неможлива (наприклад, в вакуумі, в умовах токсичної, вибухонебезпечного середовища або високої температури, мініатюрних виробів, в дуже швидкому темпі).

Впровадження автоматизації складання раціонально тільки в тих випадках, коли програма випуску виробів досить висока і термін окупності витрат на устаткування за рахунок зниження трудомісткості процесів і скорочення застосування робочої сили не перевищує півтора-двох років.

У процесі загального складання виробів перевага в автоматизації і механізації надається транспортним засобам, оскільки допоміжний час переважає над основним часом операції. Багато часу витрачається на транспортування, орієнтування, базування деталей перед складанням. Також значну частину займають додаткові операції – регулювання, випробування, контроль. Такі обставини призводять до

зростання відносної частки складальних процесів у загальних витратах праці, виробничому часі, собівартості [8].

1.5 Продуктивність праці

Узагальнюючим показником ефективності використання робочої сили є продуктивність праці, що, як і всі показники ефективності, характеризує співвідношення результатів та витрат, у даному випадку - результатів праці та витрат праці.

Продуктивність праці показує співвідношення обсягу вироблених матеріальних або нематеріальних благ та кількості затраченої на це праці. Тобто зростання продуктивності праці означає збільшення обсягу вироблених благ без збільшення трудовитрат.

У широкому розумінні зростання продуктивності праці означає постійне вдосконалення людьми економічної діяльності, постійне знаходження можливості працювати краще, виробляти більше якісніших благ при тих самих або й менших затратах праці.

Зростання продуктивності праці забезпечує збільшення реального продукту й доходу, а тому воно є важливим показником економічного зростання підприємства. Оскільки збільшення суспільного продукту в розрахунку на душу населення означає підвищення рівня споживання, а отже, і рівня життя, то економічне зростання стає однією з головних цілей виробництва

Кожне підприємство характеризується певним рівнем продуктивності праці, який може зростати або знижуватися під дією різноманітних чинників. Підвищення продуктивності праці є безперечною умовою прогресу і розвитку виробництва.

Джерелом зростання продуктивності праці, яке не має меж, є техніко-технологічне вдосконалення виробництва під дією науково-технічного прогресу. За кілька останніх десятиріч у розвинених країнах рівень екстенсивного використання праці зменшився більше ніж удвічі, інтенсивність праці не зростала, а продуктивність збільшилася в кілька разів, що проявилось у значному зростанні добробуту і рівня споживання всіх верств працюючого населення. Тобто саме за

рахунок науково-технічного прогресу продуктивність праці зростає так швидко, що дає можливість виробляти все більше споживчих благ меншою кількістю праці [9].

1.6 Методи аналізу та підвищення пристосованості виробу до процесів складання

Для підвищення ефективності складальних процесів часто застосовують високопродуктивне допоміжне обладнання для скорочення часу складання. Це є достатньо дорогим методом, адже тип і кількість необхідного обладнання залежить від конструктивності кожного виробу.

Для забезпечення високої продуктивності складання, автоматизовані жорстко блоковані лінії доцільно застосовувати при числі складальних позицій не більше 12 ... 16. при більшій кількості позицій рекомендують створювати між операційні доробки або використовувати несинхронний транспорт, забезпечуючи кожній позиції незалежну роботу зі своїм тактом.

Тому одним з головних напрямків відпрацювання конструкції виробу на технологічність є її спрощення за рахунок скорочення кількості деталей, заміни з'єднань, важких у виконанні для механізованого складання. Конструкція виробу повинна передбачати зручність її збирання та розбирання (ремонтпридатність). Для цього, перш за все вона повинна розділятися на складові частини (складальні одиниці), збірку яку можна зробити відокремленою і самостійно на окремих складальних ділянках або роботизованих складальних комплексах. Якщо механізми виробу є одночасними і його складовими частинами, то перед подачею на загальну збірку вони проходять контроль і випробування, що усуває появу дефектів на загальній збірці і підвищує якість виробу. Використання уніфікованих стандартних деталей і складових частин не тільки скорочує трудомісткість і вартість їх виготовлення, а й веде до скорочення номенклатури складального обладнання та інструменту. Так, число автоматичних складальних позицій, їх конструктивне виконання і складність залежить від уніфікації елементів виробу, що збирається. Якщо мова йде про незалежне з'єднаннях, яке можна виконувати в будь-якій послідовності, то коефіцієнт повторюваності характеризує можливість застосування

багатошпіндельних складальних позицій. При цьому число останніх буде залежати від раціонального розташування цих з'єднань у виробі: відстань між ними має дорівнювати або більше мінімального допустимого відстані між осями виконавчих складальних механізмів.

Якщо складальний виріб має повторювані залежні з'єднання, що виконуються в певній послідовності і окремо в часі, так як між ними встановлюються інші деталі, то коефіцієнт повторюваності характеризує число однакових складальних позицій в лінії. Витрати на підготовку виробництва і проектування таких позицій скорочується.[9]

У роботизованих складальних комплексах коефіцієнт повторюваності характеризує скорочення типорозмірів захватних подають пристроїв, виконавчих механізмів і часу на їх заміну.

Застосування уніфікованих елементів і складових частин конструкції дозволяє застосовувати типові стандартні складальні обладнання, вартість якого набагато нижче. При розробці оригінального складального автоматичного обладнання витрати на його проектування, виготовлення дослідних зразків і налагодження зростає в 1,8 ... 2,0 рази.

Для досягнення необхідної точності взаємного положення елементів виробу, що збирається слід поєднувати складальні бази з технологічними і вимірювальними базами. Базова деталь виробу повинна мати технологічну базу, що забезпечує достатню стійкість зібраного об'єкта. Вкрай бажаним для автоматичного складального процесу є зміна технологічних баз виробу, що збирається, так як це вимагає не тільки кантування зібраного об'єкта, а й часто створення нових складальних пристосувань і розчленування лінії на ділянки зі своїми транспортними системами і приводними станціями. Це не тільки збільшує вартість складальних робіт, але і призводить до зниження точності складання [7].

Для дотримання принципу взаємозамінності доцільно уникати багатоланкових розмірних ланцюгів, які звужують допуски на розміри складових ланок.

Якщо скоротити число ланок неможливо, то в конструкції виробу слід передбачити жорсткий або регульований компенсатор. В цьому випадку необхідну

точність вихідного (замикає) ланки легко забезпечити побором або приганянням жорсткого компенсатора або установкою на необхідний розмір регульованого компенсатора. При автоматичному виконанні складання виробу і його складових частин необхідно, щоб точність замикаючої ланки складальної розмірної ланцюга забезпечувалася методом повної взаємозамінності. Виконання пригонювальних робіт, як правило, неприпустимо. Проведення регулювальних робіт, розборок і повторних збірок вимагає ручних операцій і знижує рівень автоматизації збирання.

З'єднання, що виконуються методом групової взаємозамінності (селективна складання) автоматично здійснювати можна, але зі збільшенням капітальних витрат на 10 ... 15%, так як потрібно 100% -ний контроль поверхонь, що сполучаються деталей, що збираються. Для цього складальні лінії необхідно оснастити контрольними автоматами, а позиції - додатковими вібробункерами і подають пристроями з системою адресування.

У випадках, коли за умовами складання необхідно забезпечити певний і єдино можливий стан зібраних елементів у виробі, передбачають установчі позначки, контрольні штифти, несиметричне розміщення кріпильних деталей. Для розбирання виробу при його обслуговуванні та ремонті необхідно передбачити зручне застосування знімачів, різьбові отвори для віджимних гвинтів, рим-болти і виступи для захоплення і підйому важких деталей. При конструюванні виробу необхідно забезпечити можливість зручного підведення високопродуктивних механізованих і автоматизованих складальних інструментів до місця сполучення деталей.

При виконанні з'єднань з зазором і натягом, а також різьбових з'єднань необхідно мати західні фаски на торцях поверхонь, що сполучаються, а також напрямні елементи (пояски і розточення) для поліпшення умов збирання. Наявність фасок і напрямних елементів на торцях поверхонь деталей дозволяє за допомогою спеціальних складальних виконавчих механізмів і пристосувань компенсувати наявні на складальній позиції похибки. Похибки взаємного положення поверхонь, що сполучаються можуть бути лінійні і кутові похибки. Це істотно підвищує рівень механізації і автоматизації складальних процесів.

Для забезпечення складання деталей по декільком посадочних поверхонь останні слід робити ступінчастими («в ялинку») з різною довжиною посадочних шийок. При цьому безвідмовність автоматичного складального процесу підвищується на 15 ... 30%.

Крім перерахованих загальних вимог іноді доводиться враховувати і приватні умови складання різних з'єднань.

Провівши аналіз конструкції виробу, технолог може внести різні пропозиції щодо вдосконалення конструкції, що спрощують збірку, які повинні бути узгоджені з конструктором [10].

Більш ефективним методом скорочення затрат на складальне виробництво, є створення нових конструкцій в яких враховано вимоги і обмеження до процесів складання без зниження якості та функціональності виробу. Можливість конструкції пристосовуватись до вимог технологічних процесів виготовлення прийнято називати терміном «технологічність», якщо аналіз технологічності з точки зору процесів обробки змінив свій сенс з появою високо-технологічного обладнання з ЧПК, 3D друку, можливістю використання нових матеріалів, різальних інструментів, то для процесу складання він стає більш актуальним [11].

Зазначимо, що в англійській літературі для визначення поняття «проектування технологічної конструкції» використовуються процесно-орієнтовані терміни, які на сьогоднішній день об'єднують визначенням

Design for X, що характеризує загальний набір правил та рекомендацій щодо проектування конструкції з урахуванням вимог процесу X життєвого циклу виробу, наприклад:

Design for Assembly (DFA) – конструювання, орієнтоване на складання;

Assemblability – придатність до складання (технологічність з точки зору складання);

Design for Manufacturing (DFM) – конструювання, орієнтоване на виробництво;

Manufacturability – придатність до виробництва (технологічність з точки зору виробництва);

Design for Manufacturing & Assembly (DFMA) – конструювання, орієнтоване на виробництво та складання;

Design for Serviceability – конструювання, орієнтоване на обслуговування;

Design for Maintainability – конструювання, орієнтоване на ремонтпридатність.

Design for Manufacturing & Assembly, використовуються багатьма компаніями світу, щоб розвивати дизайн продукта, який використовує оптимальні виробничі та складальні процеси.

Вірно застосований аналіз DFMA приводить до значного скорочення вартості виготовлення, не ставлячи під загрозу цілі на продукцію, функціональність і якість.

Існує чотири підходи до підвищення придатності виробу до процесів складання:

1. Використання набору правил і рекомендацій (*Design principles and rules*).
2. Використання процедур кількісної оцінки технологічності (*Quantitative evaluation procedures*).
3. Використання даних попереднього досвіду (*Expert/Knowledge-based approach*).
4. Використання автоматизованих DFA методів (*Computer-Aided DFA methods*).

[12, 13]

Висновки до розділу

Аналіз стану досліджуваного питання показав, що одним із ефективних засобів підвищення ефективності складального виробництва є створення складально-орієнтованих конструкцій виробів, яке може виконуватись як при проектуванні нових, так і при перепроєктуванні існуючих виробів. Пристосованість конструкції до певних процесів виробництва в літературних джерелах описується поняттям «технологічність». За об'єктом дослідження розрізняють: технологічність деталі, складання та виробу в цілому. Аналіз технологічності виробу у тому вигляді, в якому він пропонувався, виявився малоефективним для практичного використання через його надмірну перевантаженість числовими параметрами. Крім того методи аналізу були спрямовані на визначення великої кількості показників, а не на шляхи покращення конструкції, а тому вони й не набули розповсюдження.

Сучасне виробництво потребує більш зручних, зрозумілих, швидких та ефективних інструментів оцінки конструкцій. Починаючи з 70-х років XX ст. такі інструменти розробляються спочатку у вигляді «паперових» методик, а згодом - у вигляді програмного забезпечення, що виконує DFA аналіз конструкції.

Незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених автоматизації DFA аналізу, питання створення алгоритмів, процедур, що вирішує дану задачу, залишається лише в стадії становлення і потребує подальшого розвитку.

Метод цілеспрямованого DFA аналізу має бути інтегрований в систему автоматизованого технологічного підготовки складального виробництва, тому важливим є спосіб представлення початкової інформації про виріб і процес. Аналіз існуючих рішень в галузі математичного опису складального виробу виявив найбільш придатною модель у вигляді функцій відображення. Дана модель може бути отримана в автоматичному режимі з тривимірної моделі виробу. На її основі методом зворотного синтезу в автоматичному режимі може бути синтезована множина послідовностей складання виробу.

Питання визначення кінематичної структури виробу на основі такого

математичного представлення складального виробу раніше не розглядалось, проте, очевидним є те, що інформація, необхідна для ідентифікації можливих рухів у з'єднанні (обмеження рухливості у вигляді набору одиничних баз), в даній моделі присутня.

Аналіз існуючих методів DFA аналізу виявив, що при оцінці часу виконання складальних операцій використовуються ідентичні геометричні та фізичні характеристики деталей, а також схожі технологічні параметри операцій, отже, можна використати одну з систем оцінювання, так як їх валідність вже підтверджена чисельними виробничими дослідженнями.

Недоліком існуючих методів є неповне і неформалізоване представлення обмежень на інтеграцію деталей.

Метою даної роботи є підвищення ефективності малосерійного складального виробництва на основі методів складально-орієнтованого проектування, що дозволить підвищити технологічність виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *задачі*:

1. Розглянути структуру механоскладального виробництва.
2. Розробити метод пошуку мінімальної кількості деталей складального виробу, необхідної для забезпечення кінематичних функцій механізму.
3. Дослідити обмеження на інтеграцію деталей та можливості їх аналізу.
4. Розробити метод автоматизованого підвищення технологічності складального виробу.

РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ СКЛАДАЛЬНИХ ВИРОБІВ

В результаті дослідження існуючих методів підвищення пристосованості виробу до процесів складання встановлено, що функцією системи автоматизованого DFA аналізу має бути аналіз існуючого конструктивно-технологічного рішення і синтез нового рішення, кращого за попереднє за визначеними параметрами. Для успішної реалізації визначеної функції необхідно: розглянути представлення складального виробу та операції; розробити метод цілеспрямованого підвищення пристосованості виробу до процесів складання та виробу варіанту конструкції. Аналіз існуючих методів оцінки СВ дозволяє стверджувати, що частиною системи автоматизованого DFA аналізу має бути процедура цілеспрямованого скорочення кількості деталей виробу. Основою такої процедури має бути аналіз формалізованих обмежень на інтеграцію деталей.

2.1. Інформаційне забезпечення, необхідне для проведення аналізу пристосованості виробу до складання

Моделлю називають деякий об'єкт, який в певних умовах замінює об'єкт-оригінал, відтворюючи тільки ті його властивості та характеристики, які є необхідними для конкретного дослідження. В залежності від мети проектування для одного об'єкту оригіналу може бути створено декілька моделей.

Для створення процедур автоматизованого аналізу технологічності складального виробу необхідно визначити властивості та характеристики, які будуть досліджуватися, та інформаційне забезпечення моделювання.

При підвищенні технологічності СВ основною характеристикою, яку досліджують, є вартість реалізації певного варіанту ТПС для певного варіанту конструктивного виконання складального виробу. Так як процедура аналізу СВ повинна проводитись або одночасно з проектуванням самого виробу або при проектуванні ТПС, то процес розрахунку вартості СВ необхідно виконувати в умовах неповної інформації стосовно виробничих умов. В даній роботі буде

враховуватись вартість виконання складальних операцій, тому модель ТПС повинна включати: послідовність виконання операцій у часі, технологічні характеристики операцій, які впливають на тривалість їх виконання, вартість оплати праці виконавця.

Вихідною інформацією для створення моделі об'єкту складання, необхідної для проектування ТПС, є тривимірна модель СВ, створена в деякій САД системі. Всю інформацію про модель СВ можна отримати із файлів наступних трьох типів:

- Файл, що містить модель виробу або підскладання. Створюється у середовищі “Складання”.
- Файли моделей деталей, які входять до СВ. Створюються у середовищі “Деталь”.
- Файли креслень СВ, підскладань та деталей. Створюються у середовищі “Креслення”.

На основі цих файлів визначені [14] три типи інформації про складальний виріб: змінна первинна; змінна вторинна; умовно-постійна.

Для роботи системи автоматизованого DFA аналізу до складу інформаційного забезпечення повинні бути включені наступні конструктивно-технологічні характеристики деталей, що входять до складу:

- змінної первинної інформації:
 - отриманої безпосередньо з файлу тривимірної моделі:
 - кількість деталей та підскладань;
 - назви деталей та підскладань;
 - розмірні характеристики геометричних ознак деталей;
 - габаритні розміри;
 - фізичні характеристики (об'єм, густина, крихкість, маса, тощо);
 - конструкторська декомпозиція виробу;
 - ознаки специфіки виконання з'єднань деталей у виробі (наприклад зварюванням, пайкою, клеєм).
 - за допомогою спеціальних методів:
 - контактні та віддалені бінарні відношення обмеження рухливості

(БВОР) елементів СВ.

- змінна вторинна інформація:
 - значущі напрямки видалення чи встановлення деталей або підскладань;
 - технологічні групи елементів СВ;
 - технологічна декомпозиція виробу;
 - види та типи з'єднань, що забезпечують цілісність складального виробу;
 - властивості симетрії деталей та підскладань.
- умовно-постійна інформація:
 - державні стандарти;
 - норми часу;
 - бібліотеки стандартних компонентів (деталей, складальних одиниць, вузлів);
 - інформація про можливі з'єднання деталей.

Визначені властивості і характеристики складального виробу, які повинні бути проаналізовані при автоматизованому підвищенні його технологічності на основі інформаційного забезпечення, доступного завдяки існуючим системам тривимірного моделювання та спеціальним методам обробки САД моделей, що є основою для подальшої розробки інформаційного представлення конструкторсько-технологічного рішення.

2.2. Моделювання конструкторсько-технологічного рішення

2.2.1. Математичне представлення об'єкту складання

Складальний виріб, спроектований конструктором, являє собою ієрархічно впорядковану множину деталей та складальних одиниць (рис. 2.1).

A_{mn}^k – n -а СО k -го рівня декомпозиції, що належить m -ій СО $(k-1)$ -го рівня; a_{mn}^k – n -а деталь k -го рівня декомпозиції, що належить m -ій СО $(k-1)$ -го рівня.

Будь-який СВ може бути описаний наступним чином,

$$A^0 = A \cup a \quad (2.1)$$

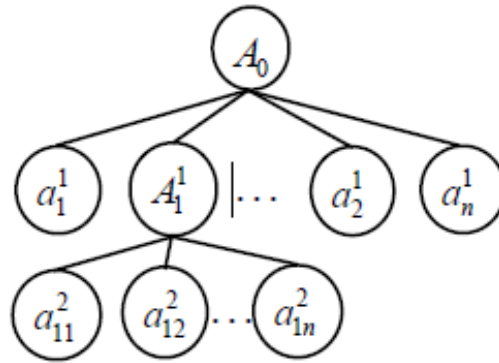


Рисунок 2.1 - Конструкторське рішення СВ

Математичне представлення [15] СВ включає інформацію стосовно БВОР, ЗЗЦ та методу їх реалізації, дана інформація представляється у вигляді матриць, що відповідають кожному значущому координатному напрямку складання.

Конструкторське рішення СВ та математичне представлення СВ у вигляді БВОР є початковою інформацією для створення дерева процесу складання СВ, яке являє собою представлення об'єкту складання з урахуванням процесу складання.

Деталі кожного з піддерев дерева, що являє собою конструкторське представлення СВ, впорядковуються згідно ТПС, а в кожному підскладанні виокремлюються базові деталі. Зазначимо, що під час синтезу ПС ієрархія компонентів СВ може бути змінена з метою покращення власне процесу складання. Серед існуючих методів автоматизованого синтезу ПС, був обраний метод зворотного синтезу [16], який оперує математичною моделлю СВ у вигляді БВОР.

Пропонується представлення деталі та складальної одиниці як сукупності наступних конструкторсько-технологічних характеристик та економічних показників:

• *Конструкторські характеристики:*

$a_i.Name$ - назва деталі;

$a_i.Name$ – назва деталі;

$a_i.Code$ – шифр деталі;

$a_i.Count$ – кількість деталей;

$a_i.Material$ – матеріал деталі;

$a_i.ServiceRep$ – властивість необхідної частоти заміни або регулювання деталі;

$a_i.Shape$ – форма деталі (0 – циліндрична, 1 – призматична, тощо);

$a_i.pThickness$ – найменший габаритний розмір деталі;

$a_i.pSize$ – найбільший габаритний розмір деталі;

$a_i.pMass$ – маса деталі;

- технологічні характеристики:

$a_i.id$ – порядковий номер деталі у ТПС;

$a_i.ParentId$ – порядковий номер деталі, видалення якої передуює видаленню деталі a_i у послідовності розкладання;

$a_i.opDiff$: – сукупність властивостей, які впливають на тривалість допоміжного часу при встановленні деталі (CO) у СВ [17]. Для кодування даної сукупності властивостей використовується 10 інформаційних бітів (табл. 2.1).

Наявність 1 у певному біті означає наявність певної властивості для даної деталі.

Наприклад, для гострої і гнучкої деталі: $a_i.opDiff = 0001000010$ за умови відсутності інших властивостей.

Таблиця 2.1 - Кодування властивостей деталей

i	$a_i.opDiff[i] = 1$	$a_i.opDiff[i] = 0$
0	Зчіплюється	Не зчіплюється
1	Гнучка	Не гнучка
2	Ламка	Не ламка
3	Спряжувана	Не спряжувана
4	Потребує особливо обережного переміщення	Не потребує особливих умов переміщення
5	Клейка	Не клейка
6	Гостра	Не гостра
7	Високої температури токсична	Температура і токсичність в нормі
8	Захоплення	Звичайне захоплення
9	Слизька	Не слизька

$a_i.opManipulation$ - визначає тип оперування деталлю. Наприклад, для ручного складання у [13] виділені чотири типи оперування:

- 0 - оперування об'ємними деталями (якщо деталь важка може використовуватись 2 людини або кран);
- 1 - оперування однією рукою;
- 2 - оперування однією рукою з інструментом (наприклад, пінцетом);
- 3 - оперування двома руками.

$a_i.OpNum$ - кількість операцій, що виконуються при встановленні деталі;

$a_i.AttrVector$ - вектор атрибутів (ВА) деталі як елементу ТПС, який являє собою сукупність технологічних переходів, які виконуються при встановленні деталі, розташованих згідно технологічного процесу;

- економічні показники:

для порівняння різних варіантів конструкції з економічної точки зору за критерій якості можуть бути прийняті *вартісні показники*:

$a_i.Cost$ - загальна вартість деталі;

$a_i.Cost.A$ - вартість встановлення деталі у СВ;

$a_i.Cost.AU$ - вартість складання вузла для СО (для деталі дорівнюватиме нулю);

$a_i.Cost.M$ - вартість виготовлення деталі (або сумарна вартість виготовлення деталей, що входять до складу СО);

Одиниці вимірювання вартості є глобальною характеристикою усіх деталей, можуть бути: грн., \$, € або деяка відносна абстрактна величина.

Окрім вартісних показників для оцінки конструкції використовуються *часові параметри*:

$a_i.HTime$ - основний час операції встановлення деталі;

$a_i.ITime$ - допоміжний час операції встановлення деталі;

$a_i.Time$ - загальний час, необхідний для встановлення деталі;

$a_i.Time.AU$ - час складання вузла для СО (для деталі дорівнюватиме нулю).

2.2.2. Математичне представлення процесу складання

Для опису послідовності встановлення елементів СВ пропонується використовувати матрицю послідовності складання (МПС), кожен рядок і стовпчик якої відповідає абсолютному індексу елемента (деталі або складальної одиниці) у СВ. Елемент МПС $s_{ij} = T$, якщо після встановлення елемента a_i може бути встановлений елемент a_j в напрямку $T \in \{X\pm, Y\pm, Z\pm, \dots\}$, в усіх інших випадках $s_{ij} = 0$, тобто:

$$\exists q_n [Hc_n = Hc_{n-1} + a_i] \rightarrow \exists q_{n+1} [a_j \in Hc_{n+1}] \Rightarrow s_{ij} = T, q \in Q, a \in A, Hc \subseteq A, \quad (2.2)$$

де q_n - стан СВ на n -му етапі процесу складання, належить множині Q усіх можливих станів СВ; Hc_n - склад деталей СВ на n -му етапі процесу складання, є підмножиною усіх деталей виробу A .

Тип і порядок операцій, які виконуються під час встановлення, пропонується задавати як вектор атрибутів (ВА) елементів та зберігати у одновимірному масиві, в якому вид і послідовність дій з кожним елементом визначається множиною індексів типів операцій.

$$BA(A_{mn}^k) = \{O_1, O_2, \dots, O_i\} \quad (2.3)$$

де O_i - технологічний перехід.

МПС								ВА
j i	a_2^1	A_1^1	a_1^1	a_n^1	a_{11}^2	a_{1n}^2	a_{12}^2	
a_2^1	-	T			T T			O_1
A_1^1		-	T					O_1, O_2
a_1^1			-	T				O_1, O_2, O_3
a_n^1				-				O_1
a_{11}^2					-		T	O_1
a_{1n}^2						-	T	O_1, O_2

Рисунок 2.2 - Матриця послідовності складання та вектор атрибутів

Технологічний перехід O_i встановлення деталі a_i пропонується описувати наступною сукупністю конструкторсько-технологічних характеристик та економічних показників:

$O_i.Name$ – назва переходу;

$O_i.opHTime$ – основний час виконання переходу;

$O_i.opITime$ – допоміжний час виконання переходу;

$O_i.WRate$ – розряд робітника, який виконує операцію;

$O_i.opRate$ – вартість секунди виконання переходу (залежить від розряду робітника $O_i.WRate$);

$O_i.opTime$ – час виконання переходу;

$O_i.opType$ – метод встановлення деталі. Згідно [17] розглядаються наступні методи встановлення:

0. - без закріплення;
1. - запресовування;
2. - самозакріплення;
3. - загин;
4. - клепання;
5. - різьове з'єднання;

$O_i.opTool$ - тип інструменту, що використовується:

0. - перехід виконується без застосування допоміжного інструменту;
1. - застосовується пінцет;
2. - застосовується будь-який інший стандартний інструмент;

3. - застосовується спеціальний інструмент.

$O_i.pBeta$ - симетрія деталі вздовж вісі встановлення (рис. 2.3), так звана β -симетрія [17], приймає значення:

0 - деталь може займати лише одне положення вздовж вісі встановлення;

180 - деталь може займати два положення вздовж вісі встановлення;

360 - деталь може займати будь-яке положення вздовж вісі встановлення;

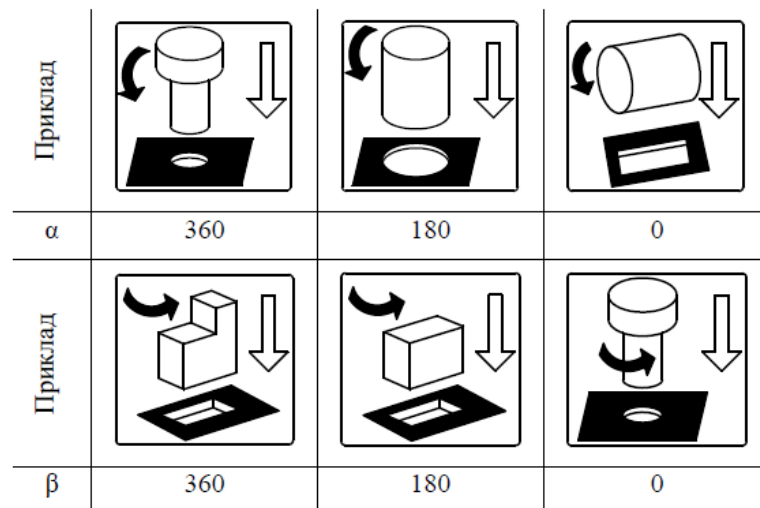


Рисунок 2.3 - Приклад визначення симетрії деталі

$O_i.pAlpha$ – симетрія деталі поперек вісі встановлення, так звана α -симетрія [17, 30]:

0 – деталь може займати лише одне положення поперек вісі встановлення;

180 – деталь може займати два положення поперек вісі встановлення;

360 – деталь може займати будь-яке положення поперек вісі встановлення;

$O_i.AlignDiff$ – ідентифікатор складності взаємної орієнтації деталей під час встановлення:

0 – взаємна орієнтація не ускладнена;

1 – взаємна орієнтація ускладнена;

$O_i.ForceApply$ – рівень зусилля, яке необхідно застосовувати під час виконання переходу:

0 – до 20Н включно;

1 – більше 20Н;

$O_i.VisionRestr$ – ідентифікатор обмеженості видимості зони складання:

0 – видимість не обмежена;

1 – видимість обмежена;

$O_i.AccessRestr$ – ідентифікатор обмеженого доступу в зону складання:

0 – доступ не обмежений;

1 – доступ обмежений;

$O_i.Holding$ – ідентифікатор необхідності утримування деталі після виконання переходу:

0 – деталь не потребує додаткової підтримки після операції встановлення;

1 – деталь необхідно утримувати після встановлення;

$O_i.optMagn$ – ознака застосування спеціальних оптичних пристроїв для виконання переходу:

0 – дані пристрої не застосовуються;

1 – необхідне застосування зазначених пристроїв;

$O_i.Crane$ – ознака застосування підйомно-транспортних засобів для виконання операції:

0 – дані засоби не застосовуються;

1 – необхідне застосування зазначених засобів;

$O_i.opCost$ – вартість виконання переходу.

До ТПС, окрім операцій встановлення елементів СВ, входять операції, які виконуються над попередньо встановленими деталями (зварювання, затягування болтів і т.і.). Такі операції не прив'язані до жодного з елементів СВ, а лише мають виконуватись після певних операцій встановлення.

Пропонується в дерево процесу складання СВ у якості окремих вузлів додавати псеводеталі (на рис. 2.4 позначені пунктирною лінією), до яких і будуть «співставлені» дані складальні операції. Введемо наступне позначення:

op_{mn}^k – n -а псеводеталь k -го рівня декомпозиції, яка належить m -й СО $(k-1)$ -го рівня. Отже, вираз (2.1) приймає вигляд,

$$A^0 = A \cup a \cup op \quad (2.4)$$

Дерево процесу складання СВ може бути використано лише для опису послідовного складання. Для розповсюдження запропонованого представлення ТПС на послідовно паралельні та паралельні складальні процеси пропонується поряд з деревом процесу складання представляти графічний опис процесу, де пунктирними лініями показані часові обмеження процесу (рис 2.4).

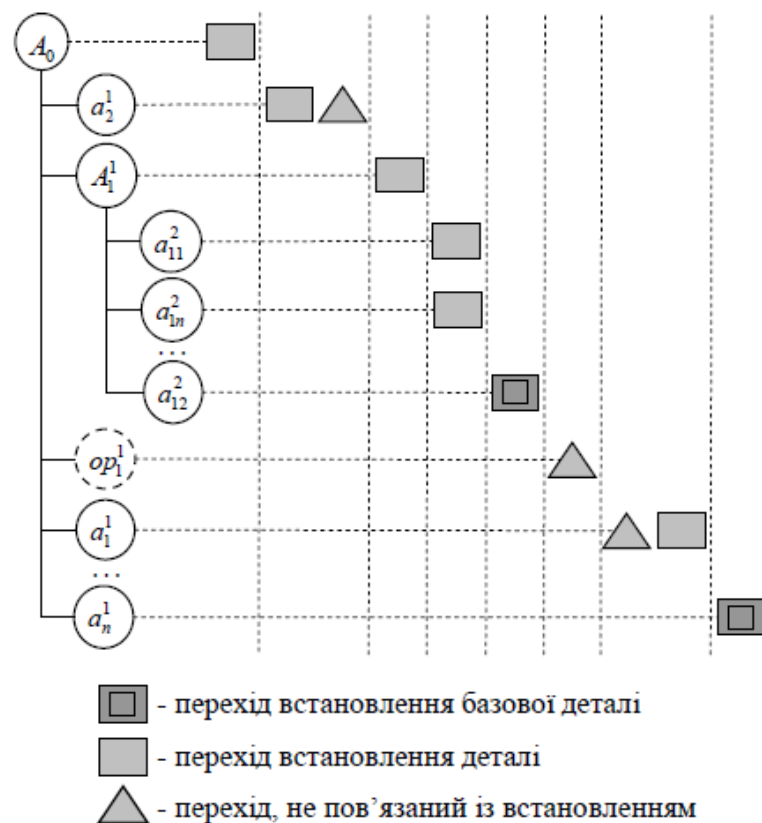


Рисунок 2.4 - Конструкторсько-технологічне рішення

Такий опис дозволяє враховувати порядок виконання операцій у часі. Наприклад, першою операцією є закріплення базової деталі a_n^1 , операція op_1^1 повинна виконуватись тільки після виконання усіх переходів, пов'язаних із встановленням деталі a_1^1 , а деталі a_{1n}^2 та a_{11}^2 можуть бути встановлені одночасно після встановлення деталі a_{12}^2 (рис. 2.4).

Сукупність даних про конструкторські та технологічні характеристики виробу назовемо конструкторсько-технологічним рішенням (КТР).

2.3. Загальний порядок аналізу виробу з метою підвищення його пристосованості до складання

В результаті дослідження існуючих методів аналізу конструкції виробу з точки зору технологічного процесу складання визначені три напрямки підвищення пристосованості виробу до складальних процесів:

1. Скорочення кількості деталей виробу.
2. Підвищення технологічності з'єднань у СВ.
3. Підвищення технологічності деталей з точки зору складання.

Пропонується виконувати аналіз виробу за даними напрямками у наступній послідовності. В першу чергу необхідно дослідити можливість скорочення кількості деталей виробу без втрати його функціональності, при цьому починати необхідно з аналізу ЗЗЦ.

В [18] було виявлено три типи з'єднань, що забезпечують цілісність:

- ЗЗЦ, яке утворюють лише дві деталі a . та $a_.$, контактено обмежені в усіх шести координатних напрямках. Прикладами таких ЗЗЦ є різьбові, з'єднання, отримані шляхом пружних (з'єднання за допомогою стопорних кілець) або пластичних (шплінтові з'єднання) деформацій, тощо.
- з'єднання, які утворюють лише дві деталі a . та $a_.$, обмежені в усіх шести напрямках, але як мінімум одне з бінарних відношень обмежень рухливості є віддаленим.
- ЗЗЦ, що складаються з групи деталей $a_2, a_., a_k, \dots, a_d$. Такі ЗЗЦ мають наступну особливість: наявність лише однієї деталі $a_.$, яка обмежує контактено чи віддалено всі інші деталі даного ЗЗЦ і є його основою. Скорочення кількості деталей виробу можна досягти шляхом заміни ЗЗЦ третьої групи з'єднаннями першої та другої груп. Після аналізу ЗЗЦ, необхідно проаналізувати можливість заміни груп деталей виробу інтегрованими деталями.

Після того, як кількість деталей виробу зменшено, необхідно дослідити відповідність реалізації з'єднань вимогам технологічності (наприклад, забезпечення єдиного напрямку орієнтації елементів кріплення). Останнім етапом є підвищення технологічності конструкцій окремих деталей (наприклад, введення-вилучення

конструктивних елементів для забезпечення симетричності деталі).

2.3.1. Процедура цілеспрямованого скорочення кількості деталей СВ

Теоретично, найкращим з точки зору складання є виріб, який містить одну деталь, що виключає процес складання як такий. У межі завдання може бути зведено до інтеграції усіх деталей складального виробу в одну. Проте, існують певні обмеження процесу інтеграції, зумовлені вимогами до кінцевого продукту.

Множина обмежень на інтеграцію деталей M містить дві підмножини: M^T - технологічних обмежень; M^F - функціональних обмежень. Множина M містить також підмножину обмежень, що можуть бути проаналізовані в автоматизованому режимі на основі математичної моделі СВ – M^A та множину обмежень, які мають бути проаналізовані людиною - M_M . Отже, вся множина обмежень на інтеграцію деталей СВ (рис. 2.5) може бути представлена так:

$$M = M_A^T \cup M_A^F \cup M_M^T \cup M_M^F, \text{ де} \\ M_A^T = M^T \cap M_A; M_A^F = M^F \cap M_A; M_M^T = M^T \cap M_M; M_M^F = M^F \cap M_M; \quad (2.5)$$

Пошук деталей складального виробу, які можуть бути інтегровані в одну з урахуванням вищезазначених вимог виконується в декілька етапів (рис. 2.6), розглянемо кожен з них.

1. Етап. Аналіз обмеження M_A^F .

Згідно [19] будь-який виріб характеризується наявністю ланцюгів потокових зв'язків - послідовності перетворень елементами даного виробу потоку речовин, енергії, сигналу і т.і. Для механічних виробів найбільш важливими є: передача зусилля та перетворення напрямку руху. Ланцюг потокового зв'язку, який реалізовано за допомогою кінематики механізму, має назву кінематичний ланцюг.



Рисунок 2.5 - Обмеження на інтеграцію деталей

У механічних системах кінематичні ланцюги реалізують передачу енергії через силову взаємодію елементів, причому в такій взаємодії беруть участь не всі елементи, а лише деякі (функціонально необхідні для передачі руху), решта елементів виконує другорядну роль і є однією з можливих варіантів конструктивного виконання.

Для виявлення кінематичного ланцюга необхідна інформація про кінематичну структуру СВ, тобто про кінематичні пари (КП) і ланки кінематичного ланцюга. Теоретично КП утворюється за допомогою двох деталей, які є ланками кінематичного ланцюга, проте конструктивно КП, як правило, реалізується більшою кількістю деталей.

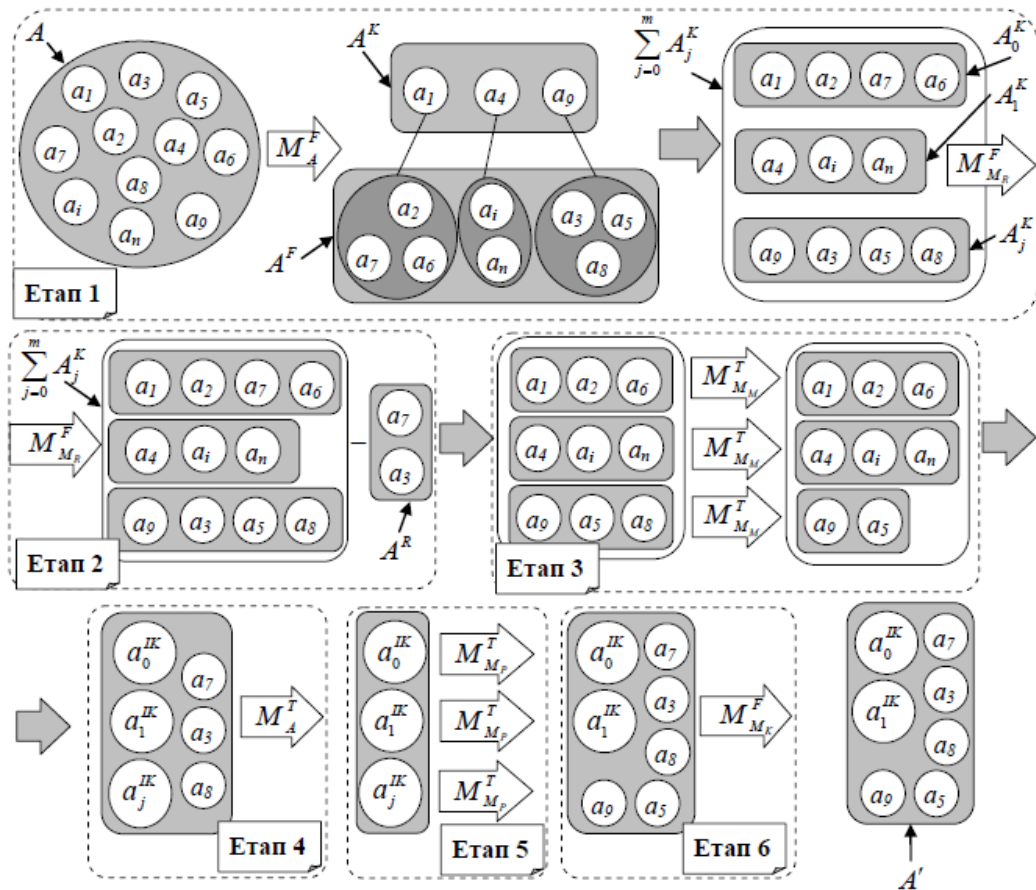


Рисунок 2.6 - Етапи виділення деталей, які можуть бути інтегровані в одну

На етапі кінематичного аналізу виконується:

1. Формалізоване розділення множини A всіх елементів СВ на дві підмножини: A^F - функціонально необхідних елементів; A^A - додаткових елементів. Елементи підмножини A^F не підлягають об'єднанню між собою, тоді як елементи множини A^A можуть бути об'єднані з іншими. У межах завдання може бути зведено до наявності в конструкції СВ тільки елементів підмножини A^F .
2. Для кожного елемента множини A^F виділення елементів з множини A^A , які приймають участь у реалізації ланки кінематичного ланцюга. Розділення множини A всіх елементів на підмножини A_i^K , кожна з яких містить деталі, які є конструктивною реалізацією однієї кінематичної ланки.
2. Етап. Аналіз обмеження $M_{M_j}^F$. Деталі, які потребують регулярної заміни або регулювання не повинні об'єднуватися з іншими, тому вони мають бути

виключені з отриманих множин:

$$\sum_{i=0}^m A_i^K - A^R, \quad (2.6)$$

де m - кількість функціонально необхідних елементів; A^R - множина деталей, властивістю яких є необхідність регулярної заміни або налаштування.

3. Етап. Аналіз обмеження $M_{M_m}^F$. Перевірка матеріалів деталей, що належать одній множині A_i^K . Якщо матеріал за специфікацією не є однаковим необхідно отримати інформацію від конструктора щодо можливості зміни матеріалів деталей. Якщо множина A_i^K містить деталі, виконані з різних матеріалів, необхідно її розділити за ознакою матеріалу. етап.

4. Етап. Аналіз обмежень M_A^T . На даному етапі виконується «попередня» інтеграція деталей множини A в одну деталь a^{IP} і для всіх деталей множини A перевіряється можливість реалізації послідовності складання і умови доступу інструменту в зону складання. Якщо виявляється неможливим виконати складання, деталі множини A не об'єднуються.

5. Етап. Аналіз обмеження $M_{M_F}^T$. На даному етапі людиною оцінюється технологічна можливість та економічна доцільність виготовлення інтегрованих деталей.

6. Етап. Аналіз обмеження $M_{M_K}^F$. Людиною оцінюється умова незмінності передачі механізмом сил, моментів, швидкостей.

Після аналізу усіх обмежень, деякі деталі можуть бути виключені з конструкції виробу, проте функції виробу мають бути збережені. Усі функції, виконувані деталлю, можна умовно розділити на дві множини: $F^M(a_i)$ - основні функції, які безпосередньо відповідають за виконання функцій складального виробу, та $F^A(a_i)$ - допоміжні функції. Якщо всю множину функцій деталі a_i позначити $F(a_i)$, то отримаємо наступну залежність:

$$\sum_{j=1}^{N^i} F(a_i^{s_j}) = F^M(a_i) \cup F^A(a_i) = F(a_i), \quad (2.7)$$

де $a_i^{s_j}$ - j -та поверхня деталі a_i , N^i - кількість поверхонь деталі a_i .

З точки зору функціонального призначення деталей СВ виключення деталі має характер:

- повного перенесення усіх функцій деталі a_i на іншу деталь (деталі) складального виробу a_k :

$$F(a_k) = F(a_k) \cup F(a_i) \quad (2.8)$$

- перенесення «значущих» функцій деталі a_i на іншу деталь (деталі) складального виробу a_k :

$$F(a_k) = F(a_k) \cup F^M(a_i) \quad (2.9)$$

- виключення деталі a_i у зв'язку з відсутністю «значущих» функцій, необхідною умовою є:

$$F^M(a_i) = \emptyset \quad (2.10)$$

Результатом запропонованої послідовності аналізу СВ є множини деталей A_i^K , які можуть бути замінені інтегрованими деталями a_i^{IK} із дотриманням усіх вимог, що висуваються до виробу.

2.3.2. Спрощення конструкції шляхом заміни з'єднань

Автоматизація складального виробництва слугувала поштовхом до накопичення і формалізації позитивного досвіду виконання як самих деталей так і їх з'єднань. Такий підхід є основним в експертних системах, що підтримують DFA аналіз складання. Крім того, такого роду аналіз може виконуватись під час розробки

конструкції або навіть на стадії концептуального проектування. Аналіз існуючих рекомендацій, що спираються на досвід виробництва дозволив систематизувати правила конструювання, спрямовані на підвищення технологічності з точки зору складальних процесів [20]:

- необхідно уникати з'єднань, що для своєї реалізації потребують більше одиниці обладнання;
- необхідно спрощувати складальні рухи (наприклад, замінювати різьби пресовими з'єднаннями, пресові з'єднання - з'єднаннями, що реалізуються пружною деформацією).
- зменшувати типи та розміри елементів кріплення.
- забезпечувати єдиний напрямок орієнтації елементів кріплення.

Типові зміни які можуть бути внесені до конструкції з метою спрощення складання [21, 13]:

- Заміна шпонкового з'єднання шліцьовим.
- Заміна в з'єднаннях кріплення за допомогою шайби з шплінтом та установочного кільця з гвинтом на з'єднання з кріпленням розрізним пружинним кільцем.
- Заміна кріплення кришки гвинтами на кріплення пружним кільцем або байонетне кріплення.
- Поєднання гвинтів та шайб в одну деталь.
- Заміна стопоріння болтів, гвинтів та гайок за допомогою обв'язувальної проволочи, шплінтів та штифтів стопорінням контргайкою, конічною поверхнею гайки, пружинною шайбою, шайбою із зубцями і т.п.
- Заміна заклепкових з'єднань зварними чи клейовими або виключення використання заклепок шляхом створення на одній з деталей спеціальних виступів, на які отворами встановлюють деталі, що приєднуються, після чого виконуються розклепування.

2.3.3. Підвищення технологічності окремих деталей та всієї конструкції

Підвищення технологічності окремих деталей з точки зору складання можна досягти якщо дотримуватись наступних правил [20, 22, 23]:

- вводити додаткові конструктивні елементи для забезпечення симетричності деталі;
- підсилювати асиметрію асиметричних деталей;
- передбачувати в конструкції фіксуючі елементи, що забезпечують встановлення деталей та вузлів при складанні;
- вводити блокування, що дозволяють складання тільки в необхідному положенні;
- підвищувати точність усіх деталей, виключати процеси підбору та пригонки деталей при складанні, забезпечувати повну взаємозамінність деталей.

Підвищення технологічності складальної одиниці можна досягти шляхом дотримання наступних правил [20, 22, 23]:

- зменшувати кількість різносторонніх напрямків встановлення;
- зменшувати кількість поверхонь з'єднання.
- конструювати вузли у вигляді незалежних агрегатів, що встановлюються у машину в зібраному стані.
- зменшувати номенклатуру матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей конструкції.

Випадки нетехнологічних конструкцій та варіанти їх заміни кращими з точки зору складання, можуть бути поєднані в базу даних проектних рішень. Під час виконання БРА аналізу складальної одиниці при знаходженні нераціональної конструкції проектувальнику може бути запропонований кращий варіант.

2.4. Порядок аналізу та вибір варіанту конструкції виробу

Пошук кращого КТР заснований на утворенні певної множини рішень, поєднаних ієрархічними відношеннями. Причому, утворений варіант не відкидається навіть якщо на певному етапі він виявляється гіршим за інші, тому що

синтезований на його основі новий варіант може виявитися кращим. Отримані рішення порівнюються між собою з точки зору часу та вартості технологічного процесу складання та приймається рішення про базовий варіант для наступної ітерації або ж про зупинення пошуку.

Для синтезу порядку аналізу та вибору кращого КТР введемо поняття проект. Проект являє собою структуру даних, яка містить множину КТР (рис. 2.7) та інформацію, необхідну для розрахунку економічних показників. Множина КТР описується деревом, коренем якого є базове KTP_0 (початкова конструкція), а вузлами - усі інші КТР, ребра відображають послідовність створення КТР.

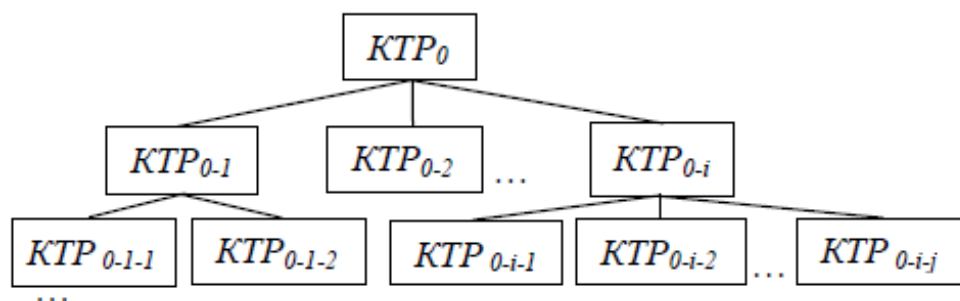


Рисунок 2.7 - Структура проекту

Для ребра I , яке з'єднує два КТР: для КТР, що відповідає вузлу n -го рівня, «батьківським» будемо називати КТР, що відповідає вузлу $(n-1)$ -го рівня.

Пропонується наступна послідовність пошуку кращого КТР СВ (рис. 2.17).

Етап 1. Опис існуючого (базового) КТР.

1.1. Формування конструкторської інформації KTP_0^K

Тривимірна модель СВ, створена в одній з CAD-систем, містить наступну інформацію: конструкторська декомпозиція виробу, назва, габаритні розміри, маса, матеріал деталей та СО, певні характеристики: крихкість, гнучкість та ін. Дана інформація може бути отримана в автоматизованому режимі.

1.2. Формування технологічної інформації KTP_0^T .

За допомогою програмного забезпечення на основі тривимірної моделі СВ автоматично може бути згенерована математична модель СВ у вигляді БВОР. Модуль синтезу ПС, використовуючи дану математичну модель та алгоритм,

представлений вище, синтезує МПС, яка імпортується модулем БРА аналізу у вигляді текстового файлу. ВА для кожного елементу дерева процесу складання задається в діалоговому режимі.

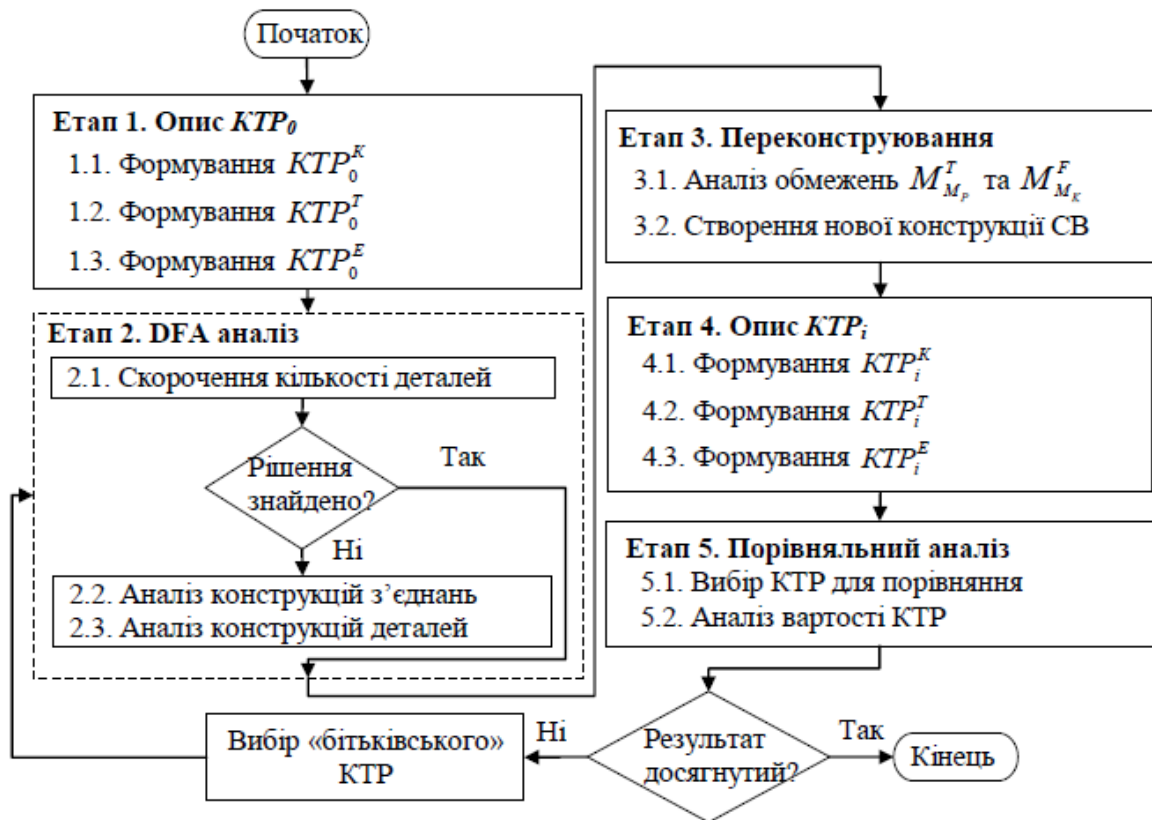


Рисунок 2.8 - Алгоритм пошуку кращого КТР

1.3. Формування економічної інформації KTR_0^E .

Для успішного реконструювання виробу важливо знати час і вартість кожної складальної операції та переходу, на підставі яких розраховуються часові та вартісні показники кожного КТР.

Процес формування інформації про вартість складання виробу реалізований наступним чином: при проектуванні технологічного процесу складання вказується розряд робітника, який виконує певну операцію. Витрати на заробітну платню розраховуються згідно розрядної сітки, заданої у глобальних налаштуваннях програми. Коли сформована необхідна інформація стосовно KTR_0 , виконується етап 2, $j=0$.

Етап 2. DFA аналіз варіанту KTP_j .

2.1.Скорочення кількості деталей СВ:

Одним з шляхів витрат, пов'язаних з процесом складання, є скорочення кількості деталей у СВ без втрати функціональності і якості виробу. Раніше нами була запропонована процедура цілеспрямованого скорочення кількості деталей СВ, заснована на аналізі обмежень на інтеграцію деталей виробу. На даному кроці виконуються етапи з 1 по 4 зазначеної процедури.

Як зазначалося вище, результатом виконання перших чотирьох етапів є множини деталей, які можуть бути попередньо об'єднані в одну. Якщо такі множини знайдені, переходимо до етапу 3, якщо ні - виконуємо 2.2 та 2.3.

2.2. Аналіз з'єднань. На даному кроці необхідно проаналізувати існуючі ЗЗЦ та, якщо це можливо, замінити їх більш технологічними з точки зору складання. Реалізація даного кроку заснована на застосуванні правил, викладених в п.2.3.2.

2.3. Аналіз конструкцій деталей з точки зору процесу складання. На даному кроці доцільно звертатися до бази даних конструкторських рішень, орієнтованих на складальні процеси. Реалізація даного кроку заснована на застосуванні правил, викладених в п.2.3.3.

Етап 3. Переконструювання.

3.1. Аналіз обмежень $M_{M_F}^T$ та $M_{M_K}^F$, тобто виконання етапу 5 та етапу 6 процедури цілеспрямованого скорочення кількості деталей СВ.

3.2. Прийняття рішення стосовно переконструювання СВ. Створення базової інформації для формування KTP_i .

Етап 4. Опис KTP_i .

Відрізняється від етапу 1 лише тим, що частина інформації успадкована від «батьківського» КТР.

Етап 5. Порівняльний аналіз.

Порівняльний аналіз проводиться з метою знаходження КТР, яке б забезпечило зменшення витрат на виготовлення виробу без втрати його якості.

Проводиться аналіз в два етапи.

5.1. Вибір КТР, які будуть порівнюватися.

5.2. Оцінка економічних показників обраних КТР.

Етап 6. Прийняття рішення.

Якщо результат порівняльного аналізу задовільний - необхідне рішення знайдено, якщо ні - обирається «батьківське» KTP_j - і виконується перехід до етапу 2.

Результатом виконання представленого алгоритму є нове конструкторсько-технологічне рішення складального виробу, що аналізується, яке є кращим за початкове за часовими та вартісними показниками.

Висновки до розділу

Створено теоретичні основи підвищення технологічності виробів на основі складально-орієнтованого проектування, які полягають в:

- розробленні інформаційного представлення складального виробу, як сукупності конструкторських, технологічних та економічних характеристик його деталей і складальних одиниць;
- розробленні інформаційного опису технологічних переходів складання у вигляді конструкторсько-технологічних характеристик з'єднання та економічних показників його реалізації;
- структуризації обмежень на інтеграцію деталей складального виробу на групи: M^p - функціональних і M^m - технологічних;
- виявленні в кожній з груп множини обмежень M_A , дослідження якої реалізується на основі моделі бінарних відношень обмежень рухливості;
- створенні методу автоматизованого підвищення технологічності складального виробу.

Технологічний процес складання запропоновано представляти у вигляді матриці послідовності складання, в якій номери рядків і стовпчиків відповідають абсолютному індексу елемента (деталі або складальної одиниці) у СВ, а елементи відображають напрям можливого встановлення, та вектору атрибутів, який визначає перелік технологічних переходів, заданих відповідними індексами, та послідовність їх реалізації.

Для забезпечення наочності представлення і опрацювання маршрутного технологічного процесу складання в системах автоматизованого аналізу, розроблено його візуальне представлення у вигляді дерева процесу та пов'язаного з ним графічного опису, в якому форма геометричних фігур відображає тип переходів, а пунктирні лінії визначають обмеження послідовності їх виконання.

Встановлено, що підвищення технологічності складального виробу доцільно виконувати в наступній послідовності: скорочення кількості деталей виробу без втрати його функціональності, дослідження можливості заміни з'єднань більш технологічними, підвищення технологічності окремих деталей з точки зору процесів складання.

Розроблено алгоритм цілеспрямованого пошуку конструктивно-технологічного рішення зі зменшеною кількістю елементів складального виробу та зміненою конструкцією з'єднань та деталей, який гарантує, що знайдене рішення за економічними показниками не поступається початковому та забезпечує збереження необхідної функціональності виробу.

3. СИНТЕЗ НОВОГО КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВИРОБУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ПРИСТОСОВАНOSTІ ДО ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

Наведемо приклад із концептуального етапу проектування. На рис. 3.1 показаний оригінальний дизайн моторного привода, необхідний для управління його положення на двох сталевих направляючих. Електродвигун повинен бути повністю замкнутим з естетичних причин і мати знімний корпус, щоб забезпечити доступ до регулювання датчика положення. Основними вимогами є жорстка база, призначена для ковзання вгору і вниз по направляючим, і підтримувати двигун і розташовувати датчик. Двигун та датчик мають дроти, що підключаються до блоку живлення та регулюючого пристрою відповідно. База забезпечується двома втулками для забезпечення відповідних характеристик тертя та зносу. Двигун закріплений до основи двома гвинтами; в отвір вставляється циліндричний датчик, який фіксується на місці із встановленим гвинтом. База двигуна та датчик є єдиними елементами, необхідними для роботи пристрою. Щоб забезпечити необхідні умови положення кришки, торцева пластина прикручується до двох подовжувачів, які вкручуються в основу. Ця кінцева пластина оснащена пластиковою втулкою, через яку проходять кабелі. Коробчата кришка закріплюється на місці чотирма гвинтами, двома пропускаючими в основу і двома в пластину. Є дві деталі, двигун та датчик, які є необхідними предметами, і в цьому початковому проекті є ще вісім додаткових основних частин і дев'ять гвинтів, що складають в цілому дев'ятнадцять предметів, які повинні бути зібрані.

Коли почали серйозно ставитися до DFA, і, відповідно, були оцінені відповідні переваги, стало очевидним, що найбільше покращення відбулося завдяки спрощенню продукту шляхом зменшення кількості окремих деталей. Для того, щоб надати керівництву конструктора скорочення кількості деталей, методологія DFA [24] містить три критерії, за якими кожна частина повинна бути перевірена, оскільки вона додана до продукту під час складання.

1. Деталь повинна рухатись відносно інших, вже зібраних, деталей для забезпечення функціонування продукту. Враховуються тільки макропереміщення, мікропереміщення, що викликані пружністю елементів не беруться до уваги.

2. Матеріал деталі повинен відрізнятися від інших, вже зібраних, або деталь повинна бути ізольована від інших. Враховуються тільки суттєві причини, пов'язані із властивостями матеріалу.

3. Деталь повинна бути окремою від інших, для забезпечення складання або розкладання виробу.

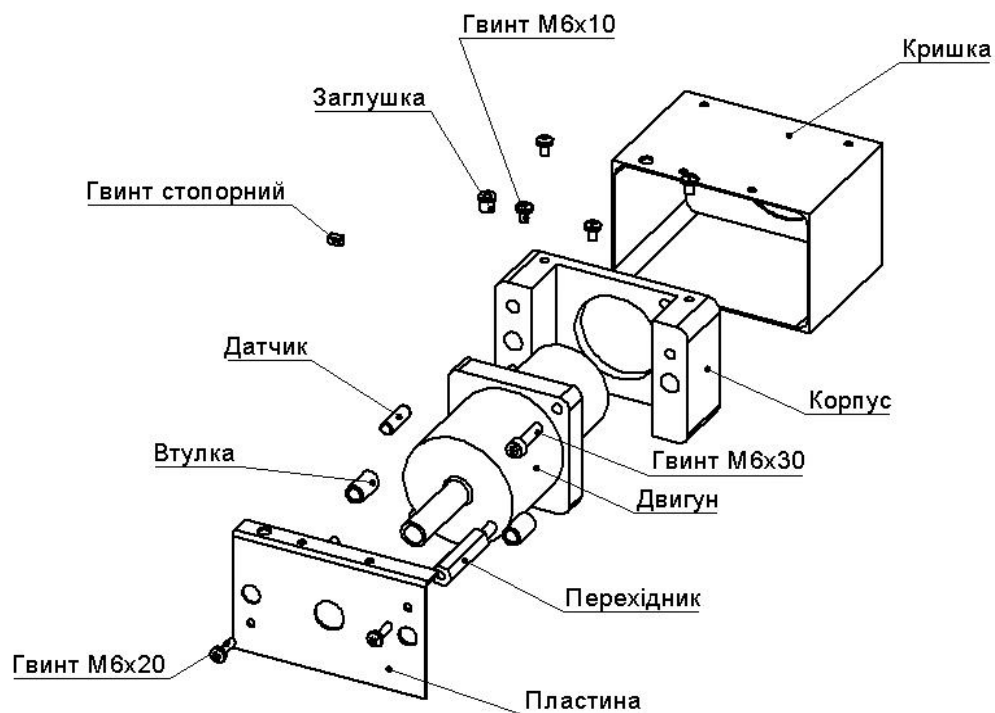


Рисунок 3.1 - Оригінальний дизайн моторного привода.

Застосування цих критеріїв до оригінального проекту під час складання відбувається наступним чином:

1. Корпус: Оскільки це перша частина, яка буде зібрана, не існує інших частин, з якими його можна об'єднати, і тому це теоретично необхідна частина.

2. Втулки (2): вони не відповідають критеріям, оскільки, теоретично, корпус і втулки можуть мати однаковий матеріал.

3. Двигун: Електродвигун - це стандартний підрозділ деталей, який у цьому випадку придбаний у постачальника. Таким чином, критерії не можуть бути застосовані, і двигун є необхідним окремим предметом.

4. Гвинти М6х30 (2): незмінно, окремі кріплення не відповідають критеріям, оскільки цілісне кріплення завжди теоретично можливе.

5. Датчик: це інша стандартна деталь і буде розглядатися як необхідний окремий елемент.

6. Гвинт стопорний: теоретично не потрібно.

7. Перехідник (2): вони не відповідають критеріям; вони можуть бути включені в базу.

8. Пластина: повинна бути роздільною з міркувань монтажу необхідних предметів.

9. Гвинти М6х20 (2): теоретично не потрібно.

10. Заглушка: може мати той самий матеріал що і пластина, таким чином, з'єднана з пластиною.

11. Кришка: Можна поєднувати з кінцевою пластиною.

12. Гвинти кришки (4): теоретично не потрібно.

З цього аналізу можна побачити, що якщо мозаїчні та сенсорні підрозділи можуть бути пристосовані до фіксації або загвинчування в основу, а пластмасова оболонка, призначена для оснащення, замість 19 буде потрібно лише чотири окремі елементи. Ці чотири пункти являють собою теоретичну мінімальну кількість деталей, необхідний для задоволення вимог дизайну продукту без урахування практичних обмежень. Тепер потрібно виправдати існування тих частин, які не відповідають критеріям. Обґрунтування може виникати з практичних або технічних міркувань або з економічних міркувань. У цьому прикладі можна стверджувати, що для закріплення двигуна потрібні два гвинти, і для тримання датчика потрібен один гвинт, оскільки будь-яка альтернатива може бути недоцільною для такого продукту, який не має достатнього об'єму. Проте конструкція цих гвинтів може бути

покращена шляхом надання їм пілотних точок, що полегшить складання. Можна стверджувати, що металеві втулки не потрібні, тому що частина може бути оброблена з альтернативного матеріалу, що має необхідні характеристики фрикції. Нарешті, важко виправдати окремі відстані, кінцеву пластину, кришку, пластикову втулку та шість гвинтів.

Тепер, перш ніж розглянути альтернативний дизайн, необхідно мати оцінки часу складання та витрат, щоб будь-які можливі заощадження могли враховуватися при розгляді варіантів проектування. Використання методів, описаних у цьому тексті, можливо скласти кошторис витрат на складання, а потім оцінити вартість деталей та відповідних інструментів, без остаточної деталізації креслення доступної частини. У Таблиці 4.1 представлені результати аналізу складання для оригінального моторного привода.

Таблиця 4.1 - Результати аналізу DFA для моторного привода з оригінальним дизайном

	№	Теоретично важливі елементи	Час складання	Вартість складання
Корпус	1	1	3,5	2,9
Втулка	2	0	12,3	10,2
Двигун	1	1	9,5	7,9
Гвинти М6х30	2	0	21,0	17,5
Датчик	1	1	8,5	7,1
Гвинт стопорний	1	0	10,6	8,8
Перехідник	2	0	16,0	13,3
Пластина	1	0	8,4	7
Гвинти М6х20	2	0	16,6	13,8
Заглушка	1	0	3,5	2,9
Вивести дроти	-	-	5,0	4,2
Переорієнтування	-	-	4,5	3,8
Кришка	1	1	9,4	7,9
Гвинт кришки	4	0	31,2	26,0

Всього	1	4	160,	133
	9		2	

де можна побачити, що індекс складання складає 7,5%. Ця цифра виходить шляхом порівняння приблизного часу складання 160 с з теоретичним мінімальним часом, отриманим шляхом множення теоретичного мінімуму частки на чотири з мінімальним часом складання для кожної частини 3 с. Слід зазначити, що для цього аналізу стандартні підрозділи вважаються частинами. Розглядаючи спочатку частини з нулями в стовпчику теоретичної частини колій, можна побачити, що ті частини, які не відповідали критеріям мінімального розрахунку частин, передбачали загальний час складання 120,6 с. Цю цифру слід порівняти з загальним складанням часу для всіх 19 частин з 160 с. Можна також помітити, що частини, що містять операції закріплення гвинтів, призвели до найбільшого часу складання. Вже було запропоновано, що ліквідація гвинтів двигуна та стопорного гвинта, ймовірно, буде непрактичним. Проте ліквідація інших частин, що не відповідають критеріям, призведе до концепції редизайну, представлену на рис. 3.2,

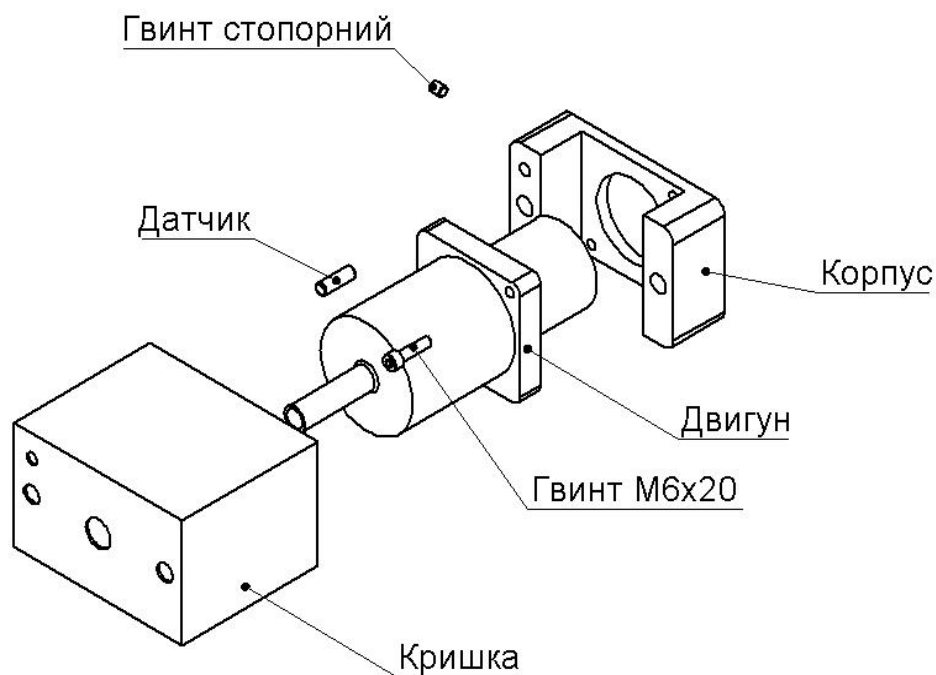


Рисунок 3.2 Редизайн монтажу моторного приводу після аналізу DFA.

де втулки об'єднуються з основою та положеннями, кінцева пластина, кришка, пластмасова втулка та шість гвинтів замінюються однією оснасткою, на пластиковій кришці. Ліквідація елементів включала час складання 97,4 с. Нова обкладинка займе всього 4 с, щоб зібрати її і уникнути необхідності переорієнтації.

Таблиця 4.2 - Результати аналізу DFA для модернізації моторного приводу

	№	Теоретично важливі елементи	Час складання	Вартість складання
Корпус	1	1	3,5	2,9
Двигун	1	1	4,5	3,8
Датчик	1	1	8,5	7,1
Гвинт стопорний	1	0	8,5	7,1
Гвинти М6х20	2	0	12	10,0
Вивести дроти	-	-	5,0	4,2
Кришка	1	1	4,0	3,3
Всього	7	4	46,0	38,4

Крім того, було б використано гвинти з пілотними точками, і база була перероблена таким чином, щоб двигун сам вирівнявся. У таблиці 1.3 представлені результати складання аналізу нового дизайну, де можна побачити, що новий час складання становить лише 46 с - менше, ніж одну третину від початкового часу складання. Індекс складання зараз становить 26%, цифра якої досягає до діапазону, встановленого з досвіду, щоб бути представником технологічних конструкцій малих електромеханічних пристроїв, вироблених у порівняно невеликому обсязі.

Таблиця 1.4 порівнює вартість деталей для двох конструкцій, що показують економію в розмірі 15 доларів за вартістю деталей. Проте, інструменти для нового обладнання, за оцінками, складають 6307 доларів - це інвестиції, які потрібно було б зробити з самого початку.

Таблиця 4.3 - Порівняння вартості деталей для монтажу привода мотора
Оригінальний дизайн та редизайн. (Придбані двигун та датчик не включені)

Оригінальний дизайн		Редизайн	
Деталь	Ціна, \$	Деталь	Ціна, \$
Корпус(алюміній)	12,91	Корпус (нейлон)	13,43
Втулка(2)	2,40	Гвинти М6х30(2)	0,2
Гвинти М6х30(2)	0,2	Гвинт стопорний	0,1
Гвинт стопорний	0,1	Пластикова кришка	6,71
Перехідник(2)	5,19		
Пластина	5,89		
Гвинти М6х20(2)	0,2		
Заглушка	0,1		
Кришка	8,05		
Гвинт кришки(4)	0,4		
Всього	35,44	Всього	20,44

Таким чином, результат цього дослідження є другим конструкторським принципом, що представляє загальну економію в розмірі 15,95 долара, з яких лише 95 центів - це економія в складанні. Крім того, індекс складання був покращений приблизно на 250%. Цікаво відзначити, що пропозиції щодо редизайну виникли за допомогою застосування мінімальних критеріїв підрахунку партій під час аналізу DFA - остаточне порівняння вартості здійснювалося після оцінки вартості складання та оцінки собівартості деталей. Другий крок у аналізі - це DFM. Це означає оцінку вартості виготовлених деталей, щоб кількісно оцінити наслідки будь-яких покращень дизайну, запропонованих в результаті початкового аналізу DFA. У даному прикладі, аналіз DFM бази виявив вартість надання кожного набору функцій за допомогою механічної обробки. Цікаво, що було виявлено, що ліквідація з двох

свердлених гвинтових отворів в бічній частині основи, а також два отвори, передбачені для перехідників, зменшить загальну вартість обробки на 1,14 долара. Таким чином, ці зміни дозволили заощадити більше, ніж загальну можливу економію у складі витрат на 95 центів. Це означає, що важливо не лише знати загальну вартість виробничої вартості товару, але і, що більш важливо, знати вартість надання різних функцій. Це дослідження є типовим у тому сенсі, що, хоча DFA означає конструкцію для складання, результати поліпшення складання зазвичай виявляються у значному скороченні витрат на виробництво частини. Риунок 1.10 підсумовує кроки, вжиті при використанні DFMA під час проектування.



Рисунок 3.3 - Типові кроки в дослідженні DFMA.

Перший аналіз DFA призводить до спрощення структури продукту. Потім, використовуючи DFM, попередні кошториси вартості для деталей отримуються як для оригінального дизайну, так і для нового дизайну, щоб прийняти рішення про компроміс. У ході цього процесу розглядаються найкращі матеріали та процеси, що використовуються для різних частин.

Висновки до розділу

На основі теоретичних досліджень, проведених в дисертаційній роботі, розроблена методика автоматизованого підвищення пристосованості виробу до процесів складання та порівняння варіантів конструкторсько-технологічних рішень виробу, яка дозволяє досліджувати структуру виробничих витрат виготовлення, виявляти найбільш дорогі деталі та процеси, з яких потрібно починати переконструювання виробу. Запропонована методологія була практично реалізована для спрощення конструкції моторного приводу.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ МАЛОСЕРІЙНИМ СКЛАДАЛЬНИМ ВИРОБНИЦТВОМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИЛАДІВ»

4.1 Опис ідеї проекту

Конструювання є важливим етапом у розробці продуктів і складає третину робота компанії. Дизайн для складання (DFA) - це процес систематичного аналізу, який перш за все покликаний спростити структуру продукту та зменшити витрати на складання продукту, оскільки загальна кількість деталей у продукті є ключовим показником якості складання продукції. Окрім вартості монтажної роботи, проектування для монтажу є багато інших переваг та декілька перерахованих нижче.

- Коли продукт спрощується, стає легше зібрати на заводі і розібрати, коли потрібно провести технічне обслуговування, ремонт або демонтаж для переробки.
- Прості елементи часто можуть бути випущені на ринок раніше.
- Зниження кількості деталей потребує меншої кількості інженерних та виробничих контролів документи, зниження запасів, зниження потреби у перевірці та контролю якості документів, менша кількість налаштувань, менша кількість обробки матеріалів.

В межах підпункту слід послідовно проаналізувати та подати у вигляді таблиць:

- ✓ зміст ідеї (що пропонується);
- ✓ можливі напрямки застосування;
- ✓ основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- ✓ чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (табл. 4.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пропонується методика за допомогою якої можливе підвищення ефективності управління складальним виробництвом	1. Застосування в приладобудівній галузі	Покращення технологічності виробів.
	2. Використання в машинобудуванні	Підвищення якості виробів.
	3. Використання науково дослідними установами.	Зменшення затрат на складальні процеси.

Висновки: Основна відмінність даної методики полягає в можливості скоротити час на складання за рахунок сучасних технологій, в результаті чого підвищується технологічність складального виробництва, також за рахунок скорочення кількості деталей зменшуються витрати на виробництво.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводиться порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п / п	Техніко-економічні властивості	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1 - Методика кількісної оцінки на технологічність	Конкурент 2 – Методика використання правил і рекомендацій			
1	Час складання	12 хв.	25 хв.	20 хв.			+
2	Автоматизація виробництва	Можливе	Провидиться висококваліфікованим персоналом	Провидиться висококваліфікованим персоналом			+
3	Точність	Підвищується за рахунок зменшення кількості деталей	Великі затрати для досягнення високої точності	Великі затрати для досягнення високої точності			+
4	Вартість ПЗ	1000	500	400	+		
5	Персонал	Висококваліфікований	Висококваліфікований	Висококваліфікований		+	

Висновки: у порівнянні із головними конкурентами товар має ряд переваг – це можливість автоматизувати технологію складання, зменшити час на складання, використання інноваційних систем підвищення надійності та точності. Слід також звернути увагу, що даний товар є технологічним. З точки зору виробництва це дає

можливість стабільно отримувати високу якість товару та не нести збитків через неякісне виготовлення.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 4.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.3. - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Застосування 3D моделювання	Використання ПК та програм моделювання.	Технологія є розробленою	У вільному доступі
2	Математичне моделювання	Методи математичного аналізу, статистики	Розроблені методики обрахунку	Методика описана в літературі
3	Використання адитивних технологій	3D принтер	Наявний апаратний комплекс та ПК	У вільному доступі
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Ідею створити можна. Технологія реалізації ідеї спирається на інноваційність підходу. Тому для того щоб значно виділитися на ринку від конкурентів, необхідно за основу взяти другий пункт «Використання адитивних технологій» що потребує значних ресурсів на проведення дослідження та подальшу реалізацію. У поєднанні з сертифікацією розширить сферу використання та подальший прибуток.				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

1) Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4. - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Конкуренція на ринку виробників.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	53

Отже, даний ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням, є привабливим для входження: високий попит споживачів на продукцію вітчизняного виробництва (в зв'язку з її доступністю); відносна відсутність обмежень для входу; середня норма рентабельності більша ніж банківський відсоток.

2) Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зниження затрат на складання	Приладобудівні підприємства, машинобудівні підприємства.	Особливості експлуатації	- висока якість - можливість ремонтоздатності
2	Доступність методології	Конструкторські бюро, науково-дослідні установи	Швидкість навчання технології,	- запатентована методика - комп'ютеризована система

В даній таблиці ми визначили сегменти ринку на якому будемо пропонувати наш продукт, визначили фактори продукту які формують поведінку клієнтів відносно нашого продукту та їхні основні вимоги до продукту.

3) Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 4.6-4.7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6. - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Складні деталі	Високі затрати на обладнання	Перехід на іншу методику чи розвиток існуючої
2	Низький попит	Наявність власних методик у клієнтів	Завоювання ринку покращенням сервісу
3	Технічні вимоги	Використання сучасного обладнання	Перехід на більш популярні методи
4	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитися продажі	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
5	Економічний	Економічний стан країни-виробника	Відмова від продукту

Висновки: в таблиці 4.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Таблиця 4.7. - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Потреба в методиці	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних партнерів
2	Різкий попит	Необхідність методики	Відкриття регіональних представництв
3	Зростання рівня доходів населення	Збільшення кількості продажів, підвищення ціни	Збільшення одиниць товару, підвищення ціни.
4	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни
5	Освоєння нових сфер	Система використовується у сферах, що не розглядалися виробником	Створення спеціальної робочої групи задля модернізації приладу для виконання поставлених вимог

Висновки: сфера використання таких систем є молодого, тому ринок клієнтів постійно зростає. Збільшення зацікавленості в товарі призведе до різкого збільшення об'ємів виробництва та продажів, що дасть поштовх до нових вдосконалень. Це досягається шляхом рекламування та освоєння нових сфер використання СЗРЛ.

4) Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8. - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	чиста	Підвищувати якість методики
2. За рівнем конкурентної боротьби		Співпрацювати з мережами виробничих підприємств
- локальний/національний/...	Локальний	
3. За галузевою ознакою		
- міжгалузева/ внутрішньогалузева	внутрішньогалузева	Створювати міжгалузеві продукти
4. Конкуренція за видами товарів:	товарно-родова	Укріплення штату та дослідження в заданому напрямку
5. За характером конкурентних переваг		Підвищення довіри від клієнтів
- цінова / нецінова	нецінова	
6. За інтенсивністю		
- марочна/не марочна	марочна	Затвердження власної марки на ринку

Висновки: на ринку присутня чиста конкуренція через те, що окремі гравці не можуть впливати на ціну товару. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний із внутрішньогалузевою. Конкуренція за видами товарів – родова.

5) Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 4.9).

Таблиця 4.9. - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	1. Design principles and rules 2. Quantitative evaluation procedures	1. Нестача кваліфікованих робітників 2. Застаріла база.	Значення розміру поставок, Диференціація витрат	Контроль якості; Змінні витрати; Система інформації; Прибутки;	Ціна; Змінні витрати; Лояльність споживачів
Висновки:	При вузькоспеціалізованій сфері конкуренція є високою в боротьбі за кращі методи.	Є можливість входу на ринок при якісній методиці. Прямих конкурентів немає.	Не диктують	Постійна технічна підтримка апартів та удосконалення методик.	Без обмежень

За результатами аналізу таблиці 4.9 можна зробити висновок, що в даного проекту є всі можливості роботи на ринку, враховуючи низьку інтенсивність конкуренції. Також проект якісно відрізняється від проектів-конкурентів (забезпечується точність виміру з можливістю аналізу, мобільність та доступність споживачам, забезпечується комплексний підхід).

6) На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 4.3.5 (табл. 4.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. № 4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 4.10.

Таблиця 4.10. - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Час роботи	Зменшення часу виконання операцій
2.	Достовірність результатів	Забезпечується якісним математичним аналізом
3.	Комплексний підхід	Зміна конструкції виробу.
4.	Ціновий	Прийнятний рівень цін на виготовлену продукцію
5	Висока якість	Висока якість продукту яка дозволяє клієнту бути впевненим в своїх результатах досліджень

В таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

7) За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10)проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Методу DFA аналізу»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з «»						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Час складання	18				+			
2	Можливість аналізу результатів	15			+				
3	Комплексний підхід	10					+		
4	Надійність	15					+		
5	Простота реалізації	10			+				
6	Якість	17		+				+	
7	Технічне обслуговування	15						+	

Висновки: спираючись на фактори конкурентоспроможності (**Ошибка! сточник ссылки не найден.**) та підсумовуючи рейтинг товару відносно головного конкурента, запропонована система має більший рейтинг відносно прямих конкурентів. Дана таблиця показує якими саме особливостями розроблена система відрізняються від аналогів та в яку саме сторону. Детальний аналіз показує що сильними сторонами є простота, можливість до адаптації з роботою із іншими системами.

8) Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Таблиця 4.12. - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Зменшення часу виробництва; 2. Зменшення фінансових затрат на складання; 3. Краща надійність; 4. Краща якість продукції;	Слабкі сторони: 1. Складність у виготовленні деталей; 2. Затрати на обладнання; 3. Унікальне ПЗ для обробки результатів;
Можливості: 1. Закріпитись на ринку товарів та послуг; 2. конкурентоспроможність; 3. іноземні інвестиції;	Загрози: 1. Неможливість малих підприємств дозволити використання новітньої техніки;

В таблиці 4.12 провели перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який склали на основі факторів загроз і можливостей який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

9) На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний

оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 4.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтованій комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Залучення нових споживачів — рекламувати товар в профільних установах для створення стійкого попиту та заохочення.	Ймовірність висока, оскільки якщо дана альтернатива виявиться новітньою розробкою, споживачі запитуватимуть продукт у посередників, а ті в свою чергу – у виробника.	1 рік
2	Використовувати метод для роботи зі застарілим виробництвом, адже більшість клієнтів на ринку не в змозі дозволити оновити виробництво	Ймовірність мала, оскільки існує альтернативна конкуренція на ринку.	6 місяців
3	Робота з сучасними представниками на ринку, в яких використання новітніх технологій витісняє застаріле виробництво.	Ймовірність висока, оскільки даний проект має велику кількість переваг, є інноваційним, що в поєднанні з новітніми технологіями створить великий попит серед споживачів.	5 місяців

На основі аналізу, таблиці 4.13 можна зробити висновок: з зазначених альтернатив обираємо третю, оскільки для даної альтернативи отримання ресурсів є

найбільш простим та надійним, строки реалізації та визнання на ринку відбудуться в найкоротші терміни.

4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

1) Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4. 14. - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Приладобудівні підприємства	Готові при наявності великих обсягів замовлення	25-30%	Низька інтенсивність	Без обмежень
2	Машинобудівні підприємства	Готові	60-70%	Середня інтенсивність	Без обмежень
3	Науково-дослідні установи	Готові, при наявності потреби	10%	Низька інтенсивність	Без обмежень
Які цільові групи було обрано: машинобудівні та приладобудівні підприємства.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів потенційний попит може виникнути від приладобудівних та машинобудівних підприємств, проводячи стратегію диференційованого маркетингу.

2) Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможності позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Встановлення низької ціни на новий товар для залучення більшої кількості покупців і завоювання великої долі ринку.	Стратегія диференційованого маркетингу	• Комплексний підхід; • Доступність; • Простота реалізації; • Мобільність; • Низькі затрати.	Стратегія диференціації

Висновки: обрана стратегія розвитку спеціалізація через існування на ринку більш сильніших гравців. На перших кроках існування проекту доцільніше обрати стратегію спеціалізації та зайняти певну стабільну нішу на ринку.

3) Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурентів, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Забирати існуючих у конкурентів.	Ні. Суть товару змінити складальне виробництво, зменшивши час на його	Стратегія виклику лідера.

			виконання.	
--	--	--	------------	--

Висновки: оскільки проект не є першопрохідцем та має суттєві переваги по відношенню до свого прямого конкурента, можливо обрати стратегію виклику лідеру. Це є можливим на фоні використання інноваційних методів підвищення точності алгоритмічного забезпечення.

4) На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 4.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.17. - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Забезпечує високу точність виробів; Знижує затрати на виробництво; Краща надійність;	Стратегія диференціації	Комплексний підхід; Точність; Економічність;	За показниками якості; За сферою застосування; За різновидом товару.

Висновки: На ряду із використання інноваційних методів підвищення точності, проект повинен викликати асоціації у клієнта у гнучкості налаштування та комплексування, можливості після продажного обслуговування та високої якості виготовлення.

Результатом виконання підрозділу є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрями роботи стартап-компанії на ринку, ключову конкурентоспроможність позиції власного стартап-проекту, вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту.

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

1) Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Точність	Забезпечує високу точність виробів.	Точність забезпечується використанням інноваційної технології.
2	Економічність	зменшуються витрати на виробництво	Зменшення складальних операцій.

Висновки: в результаті визначення переваг концепції товару можливо створення цільової реклами товару та донесення цільового повідомлення до кінцевого клієнта

2) Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Підвищення ефективності управління складального малосерійного виробництва електро-механічних приладів.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Технічні	М	Тх
	3. Надійності	М	Тл
	4. Технологічні	М	Тх
	Якість: патент на корисну модель,		
	Пакування:		
	Марка: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» Методика DFA аналізу складальних процесів.		
III. Товар із підкресленням	До продажу: можливість аналізу та удосконалення системи.		
	Після продажу: можливість створення нових та модифікації існуючих апаратів аналізу конструкції.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування методики.			

Висновки: основними засобами захисту від копіювання є патентування програмних та апаратних рішень, що використовуються у приладі. Окрім того, захист програмного коду повинен запобігти копіювання програми. Закладені характеристики на другому та третьому рівнях товару робить його унікальним серед конкурентів.

3) Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне ви-значення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 20. - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	800 \$	1200 \$.	12-15 000 \$.	400/1000 \$.

Висновки: обрано середню цінову категорію, оскільки занадто висока ціна відлякує споживача.

4) Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21. - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає придбання дещо змінених товарів (послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості	Потачальник виконує такі основні функції: транспортування, складування, зберігання, доробка, просування до оптових і роздрібних торгових ланкам.	0 (без посередників)	Власна система збуту

	постачання).			
--	--------------	--	--	--

Висновки: основними каналами збуту є оренда та продаж. Через відносно не великі об'єми виробництва нема сенсу використовувати підрядників для реалізації товару. Тому обрано нульовий рівень глибини каналу збут та власна системи збуту.

5) Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.22. - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Орієнтація на регулярні поставки	Формальні/неформальні канали комунікацій	Комплексний підхід; Доступність; Мобільність;	Інформування споживачів; Стимулювання продажу; Пошук вигідних партнерів;	Даний продукт є інноваційним та унікальним

Маркетингова комунікація проходить через рекламу приладу в соціальних мережах, спортивних заходах, рекламі комп'ютерних ігор чи кінофільмів. Метою цих оголошень є донесення можливостей даної системи та вигоди від використання.

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до розділу

Даний розділ присвячений розробленню першого етапу створення стартап-проекту. Найголовнішим в проведенні будь-якої наукової роботи є подальша комерціалізація отриманих результатів та можливість застосування розробленої концепції в промисловості. Більшість ідей в тій чи іншій мірі впливають на економічну складову підприємства. Тому розроблена ідея може бути використана як бізнес модель та може бути продана зацікавленим особам.

Першим кроком було відбір та висвітлення самої ідеї проекту. Для цього в **Ошибка! Источник ссылки не найден.** приведено назву проекту та можливі зацікавлені сторони, котрі будуть потенційними споживачами продукту та які саме ризики можуть бути під час реалізації. Аналіз слабких та сильних сторін дають можливість автору проекту визначити аспекти, на яких слід зробити ставку. Перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик ідеї дає можливість до уявлення конкурентоспроможності запропонованого рішення. Для даного проекту було обрано виявлено не зайняту нішу товару у сфері спортивної медицини та у медичних закладах. Сильними сторонами проекту являються можливість до інтеграції з іншими приладами та підвищення стійкості та надійності системи.

Наступним кроком проводився технологічний аудит проекту. Під час аудиту автор отримує можливість до розуміння кращої технології виконання. Виявлено що більшість технологій вже існує, однак використання останніх не дасть можливості мати переваги над конкурентами. Саме ставка на інноваційні методи підвищення точності можуть зробити пристрій унікальним та незамінним. Загалом, створення проекту можливе, однак необхідно провести доволі сильну рекламну компанію, щоб отримати покупців.

Зважаючи на стрімкий розвиток технологій, для швидкого отримання ресурсів та прибутків, слід обрати кооперацію, як форму ринкового впровадження проекту. Тобто, для того щоб встигнути за ринком, слід не розроблювати систему з нуля, оскільки це займе доволі багато часу, а запропонувати лідерам ринку використання

запропонованих програмних рішень. Звісно, це є альтернативою, оскільки в такому випадку ні одна зі сторін не отримає повного прибутку.

Після аналізу всіх аспектів ринку, подальша імплементація проекту можлива. Але є одна важлива умова. Слід провести доволі сильну рекламну компанію, та донести до споживачів необхідність використання системи саме з підвищеною завадостійкістю та чому саме обрати нашу систему

.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській дисертаційній роботі виконано теоретичне узагальнення і нове розв'язання науково-технічної задачі підвищення ефективності складального виробництва шляхом підвищення технологічності виробу на основі складально-орієнтованого проектування його конструкції.

2. Створено теоретичні основи підвищення технологічності виробів на основі складально-орієнтованого проектування, які полягають в:

- розробленні інформаційного представлення складального виробу, як сукупності конструкторських, технологічних та економічних характеристик його деталей і складальних одиниць;

- розробленні інформаційного опису технологічних переходів складання у вигляді конструкторсько-технологічних характеристик з'єднання та економічних показників його реалізації;

- структуризації обмежень на інтеграцію деталей складального виробу на групи функціональних і технологічних;

- виявленні в кожній з груп множини обмежень, дослідження якої реалізується на основі моделі бінарних відношень обмежень рухливості;

- створенні методу автоматизованого підвищення технологічності складального виробу.

3. Для автоматизації оцінювання критерію відсутності відносного руху між деталями, що об'єднуються, розроблений метод пошуку мінімальної кількості деталей складального виробу, необхідної для забезпечення кінематичної функції механізму.

4. Створена методика аналізу структури виробничих витрат на виготовлення виробу та подальшого вдосконалення його конструкції, застосування яких дозволяє підвищувати ефективність технології виготовлення виробу в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвійчук І.О. Сучасний стан та перспективи розвитку приладобудування в Україні: Вісник МНУ ім. В.О.Сухомлинського – Миколаїв, 2015. – 360-366 с.
2. ГОСТ 14.205-83 Технологичность конструкции изделий термины и определения – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 4 с.
3. Іванілов О. С. Економіка підприємства: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. С. Іванілов — К.: Центр учбової літератури, 2009. — 728 с.
4. Дворецкий С.И. и др. Компьютерное моделирование технологических процессов и систем С.И. Дворецкий, Ю.Л. Муромцев, В.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе / Учебное пособие. - Тамбов: ТГТУ, 2006. - 158 с.
5. Бахвалов, Л. А. Моделирование систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению 654600 «Информатика и вычислительная техника», спец. 220200 «Автоматизированные системы обработки информации и управления» / Л. А. Бахвалов ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Московский государственный горный университет, 2006. – 290 с. – (Высшее горное образование). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/83531/>.
6. Гриньова В.М. Організація виробництва: Навч. посіб. / В.М. Гриньова. - К.:Знання, 2009. - 582с.
7. Савуляк, В. В.Складальні процеси в машинобудуванні : навчальний посібник /укладач: В. В. Савуляк – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 99 с.
8. Арпеньтьев Б.М., Павлова А.А. Автоматизированное проектирование процессов сборки на основе унификации и стандартизации // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2001. – №8 – С. 2-5.
9. Ример М.И., Касатов А.Д., Матиенко Н.Н. Экономическая оценка инвестиций / Под общ. ред. М. Римера – СПб.: Питер, 2006. – 480 с.: ил. – (Серия «Учебное пособие»).

10. Небава, М. І. Економіка та організація виробничої діяльності підприємства. Ч.1. Економіка підприємства : навчальний посібник / Небава М. І., Адлер О. О., Лесько О. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 117 с.
11. Стельмах Н. В. Автоматизація технологічного підготовки складального малосерійного виробництва електромеханічних приладів: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 189 с.
12. Лашина Ю.В. Підвищення технологічності виробу з точки зору складання шляхом формалізованого скорочення кількості деталей / Ю.В. Лашина, В.А. Пасічник // Вісник ЖДТУ. – Житомир.: ЖДТУ, 2008. – №447). – С. 39
13. Boothroyd, G. Assembly automation and product design / Geoffrey Boothroyd. 2nd ed. ISBN 1-57444-643-6, CRC Press Taylor & Francis Group, 2005
14. Сімута Р. Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2003. – 133 с.
15. Пасічник В. А. Основи комп'ютерно-інтегрованого механоскладального виробництва Дис... докт. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. –412 с.
16. Давыгора В. Н., Пасечник В. А. Теория формализованного синтеза исходного множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки // Вестник НТУУ „КПИ”. – 2000. – № 39. – С. 55-77.
17. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Anthony Knight. Product design for manufacture and assembly. 2nd ed. ISBN 10: 082470584X, CRC Press Taylor & Francis Group, 2001.
18. Кореньков В. М., Пасічник В. А., Сімута Р. Р. Аналіз з'єднань, що забезпечують нерознімність складальних одиниць та виробів, і деякі способи визначення таких з'єднань // Вісник технологічного університету Поділля. – 2002. – №4 / ч.1. – С. 48-52.

19. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988.- 386с.
20. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1/Под. ред. П. Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр. – М.: Машиностроение, 1988 – 560 с., ил.
21. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly // Computer Aided Design. – 1994. – Vol. 26, №9. – P. 505-520.
22. Замятин В. К. Технология и автоматизация сборки: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1993. – 464 с.: ил.
23. Замятин В. К. Технология и автоматизация сборки: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1993. 464 с.: ил.
24. Vierrege, K. Die Gestaltung der Gratspalt am Schmiedegesenk, *Industrie Anzeiger*, 90, p. 1561, 1970.
25. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
26. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS- технологии / Ю.М.Соломенцев, В.Г.Митрофанов, В.В.Павлов, Л.В.Рыбаков - М.: Наука, 2003, 292 с.
27. Давигора В. М., Пасічник В. А., Сімута Р. Р. Спосіб визначення взаємних обмежень рухливості деталей у складальній одиниці // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2000. – №3 / ч.2. – С. 157-161..
28. Технологія автоматизованого виробництва: Підручник / О.О.Жолобов, В.А.Крилович, П.П. Мельничук, В.А. Яновський. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 1014 с.

29. Юлія Вікторівна Лашина Підвищення технологічності виробів на основі складально-орієнтованого проектування : дис ... канд. техн. наук: 05.02.08 / . – Київ : Б.в., 2011 . – 200 с.

30. Tate Susan J.. Symmetry and Shape Analysis for Assembly-Oriented CAD: PhD Thesis – Cranfield University, 2000. – 180 p.

ДОДАТКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан приладобудівного факультету

Тимчик Г.С _____

«___» _____ 20__ р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження магістранта Сусли

Дмитра Валерійовича на тему:

«Підвищення ефективності управління малосерійним складальним виробництвом електромеханічних приладів»

Комісія у складі:

Голова - Заст. декана з навч.-метод. роботи, к.т.н. доцент Філіппова М.В.; Члени комісії - к.т.н., Осадчий О.А.

- к.т.н., доцент Стельмах Н.В.;

- к.т.н., Подольян О.О.;

цим актом засвідчує те, що результати дисертаційного дослідження Сусла Дмитро Валерійович на тему: «Підвищення ефективності управління малосерійним складальним виробництвом електромеханічних приладів», а саме основні принципи сучасної організації складальних робіт, методи забезпечення надійності та розмірної і параметричної точності приладів, що виробляються. Описуються сучасні технологічні складальні процеси механічних, електричних, елементів приладів та їх регулювання, контролю і випробувань, що реалізують ці методики, використовуються при проведенні лекцій та лабораторних практикумів з навчальної дисципліни «Технологія складання та випробування приладів» викладачами кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Голова комісії _____ М.В. Філіппова

Члени комісії _____ О.А. Осадчий

_____ О.О. Подольян

_____ Н.В. Стельмах