

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КАФЕДРА
КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«Моделі для інформаційної технології побудови
раціональної послідовності складання виробів
машинобудування»**

**Завідувач
випускної кафедри**

проф. Довбиш А.С.

Керівник роботи

проф. Лавров Є.А.

Студентка групи ІН.мз – 92 с

Чибіряк Я.І.

СУМЫ 2021

Сумський державний університет
(назва вузу)

Факультет ІЗДВФН Кафедра Комп'ютерних наук
Спеціальність «Інформатика»

Затверджую:
зав.кафедрою _____
« _____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТОВІ**

Чибіряк Яні Іванівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Моделі для інформаційної технології побудови раціональної послідовності складання виробів машинобудування

затверджую наказом по університету від " _____ " _____ 20__ р. № _____

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 22 січня 2021 року

3. Вхідні данні до проекту (роботи) літературні джерела з питань побудови раціональної послідовності складання виробів машинобудування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
1) Аналіз проблеми. Постановка задачі дослідження. 2) Вибір методу рішення
3) Моделювання раціональної послідовності складання 4) Розробка програмного забезпечення синтезу раціональних по тривалості варіантів складання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____
актуальність, апробація, характеристика проблеми та аналіз сучасних підходів до побудови раціональної послідовності складання виробів, постановка задачі, розроблення математичних, об'єктно-орієнтованих моделей, приклади, впровадження, висновки.

6. Консультанти до проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що стосується їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>Ідентифікація ідеї проекту</i>	<i>01.09.20 – 18.09.20</i>	
2.	<i>Аналіз проблеми. Постановка задачі дослідження</i>	<i>21.09.20 – 09.10.20</i>	
3.	<i>Вибір методу рішення</i>	<i>09.10.20 – 26.10.20</i>	
4.	<i>Розробка математичних моделей</i>	<i>02.11.20 – 20.11.20</i>	
5.	<i>Розробка інформаційного та програмного забезпечення системи комп'ютерної психодіагностики</i>	<i>02.11.20 – 20.11.20</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки до дипломної роботи</i>	<i>3.12.20 – 25.12.20</i>	
7.	<i>Створення документації</i>	<i>1.01.21 – 20.01.21</i>	
8.	<i>Задача пояснювальної записки</i>	<i>22.01.21</i>	
9.	<i>Презентація проекту</i>	<i>29.01.21</i>	

Студент – дипломник _____ Чибіряк Я.І.
(підпис)

Керівник проекту _____ д.т.н., проф. Лавров Є.А.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Записка: 146 стор., 41 рис., 3 табл., 4 додатки, 45 джерел.

Об'єкт дослідження — послідовність складання виробів машинобудування.

Предмет дослідження — моделі для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Мета роботи — розробка алгоритмічного забезпечення та моделей для інформаційної технології побудови раціональної послідовності складання виробів машинобудування.

Методи дослідження — системний підхід, метод теорії матриць, графів, множин.

Результати — у роботі розроблено математичні моделі виробу, що описують наявність базування між деталями, точність їх виготовлення, екологічні фактори та вимоги техніки безпеки до складальних процесів. Розроблено алгоритмічне забезпечення для синтезу раціональних варіантів послідовності складання виробів. На основі алгоритмічного забезпечення запропоновано моделі для інформаційної технології побудови послідовності складання виробів, використання якої мінімізує тривалість виробничого циклу.

Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення відрізняється тим, що в автоматизованому режимі дозволяє врахувати необхідні фактори і отримати раціональну по тривалості виробничого циклу послідовність складання виробу заданої якості.

Ключові слова: модель, алгоритм, програмне забезпечення, аналіз, синтез, структура виробу, тривалість виробничого циклу.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Аналіз питання, що досліджується.....	9
1.2 Шляхи удосконалення складальних процесів	12
1.3 Існуючі підходи до побудови раціональної послідовності складання виробів	16
1.4 Мета та задачі дослідження	24
2 ВИБІР МЕТОДУ РІШЕННЯ	27
2.1 Вибір методів дослідження.....	27
2.2 Формалізація задачі синтезу раціональної послідовності складання виробів	30
3 МОДЕЛЮВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ	41
3.1 Формування набору складальних одиниць та їх ранжування	41
3.2 Визначення послідовності складання для кожної складальної одиниці	46
3.3 Кількісний аналіз варіантів послідовності складання виробу	54
3.4 Моделювання раціональної послідовності складання на прикладі виробу клапан.....	62
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПО ТРИВАЛОСТІ ВАРІАНТІВ СКЛАДАННЯ	70
4.1 Моделювання роботи програмного забезпечення.....	70
4.2 Архітектура програмного забезпечення	72
4.3 Приклад роботи програмного забезпечення	73
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	80
ДОДАТОК А Алгоритмічне забезпечення синтезу раціональної послідовності складання виробу (фрагмент)	85
ДОДАТОК Б Програмне забезпечення синтезу раціональної послідовності складання виробу	95
ДОДАТОК В Публікації за темою роботи	103
ДОДАТОК Г Акт впровадження.....	146

ВСТУП

Актуальність теми. На підвищення конкурентоспроможності і якості продукції значний вплив здійснює впровадження сучасних інформаційних технологій у виробництво, що є основою концепцій Індустрії 4.0. При цьому однією з найбільш актуальних і складних проблем є комплексна автоматизація виробничих процесів. Аналіз показав, що під час виготовлення продукції найбільший відсоток усіх видів робіт займають складальні процеси, що є заключним етапом отримання готової продукції. Водночас спостерігається низький рівень автоматизації складальних робіт, що не перевищує 7-10% [1–3].

Підвищення ефективності технологічного процесу складання досягається за рахунок проектування такої складальної послідовності виробу, яка передбачає можливість її реалізації засобами автоматизації. Але задача визначення послідовності складання є багатоваріантною. Доведено, що від обраного варіанту складання виробу залежить його якість, собівартість, продуктивність виконуваних робіт, тривалість виробничого циклу. Тому важливою задачею є побудова раціонального варіанту послідовності складання [4–6].

Виробничі процеси характеризуються великою кількістю та складністю взаємозв'язків. Тому визначення послідовності складання відносять до класу слабо структурованих задач та таких, що важко піддаються формалізації [7,8].

Особистий внесок здобувача. У даній роботі з використанням системного підходу, теорії матриць, графів та множин побудовано математичні моделі виробу, що дозволяють описати, як його ієрархічну будову так і ряд важливих характеристик: наявність базування між деталями, точність їх виготовлення, екологічні фактори, вимоги техніки безпеки. На основі отриманих математичних моделей, розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення, що в автоматизованому режимі дозволяє будувати раціональну по тривалості послідовність складання виробу із забезпеченням заданої якості.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка моделей для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- з використанням теорії графів і матриць розробити математичні моделі, що відображають необхідні характеристики складальних елементів та дозволяють автоматизувати процес побудови послідовності складання виробів;
- на основі отриманих математичних моделей виконати розробку алгоритмічного і програмного забезпечення рішення задачі;
- розробити моделі для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Об'єкт дослідження — послідовність складання виробів машинобудування.

Предмет дослідження — моделі для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Методи дослідження — базуються на використанні системного підходу, методів теорії матриць, графів, множин.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати роботи були докладені на:

- науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій «Сучасні технології у промисловому виробництві». – Суми : СумДУ, 14-17 квітня 2015 р.
- VI міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта 2015». – Київ, НУБіП України, 19-20 листопада 2015 р.
- науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів «Інформатика, математика, механіка»: Суми : СумДУ, 18-22 квітня 2016 р.

– 22-й міжнародній науковій конференції «Технологии XXI века», Одеса, 12-17 вересня 2016 р.

– науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів «Інформатика, математика, механіка»: Суми: СумДУ, 15-18 квітня 2017 р.

– 25-й міжнародній науковій конференції «Технологии XXI века», Одеса, 15-19 вересня 2019 р.

– науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів «Інформатика, математика, механіка»: Суми: СумДУ, 15-18 квітня 2020 р.

Публікації.

Основний зміст роботи викладено автором у 11 наукових роботах, із них 3 статті у наукових фахових виданнях, 7 – у матеріалах робіт науково-технічних конференцій і 1 стаття у тематичному збірнику наукових статей.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Заключним етапом виробничого процесу є складання, тому якість готових виробів багато в чому залежить від даного етапу. Трудомісткість складальних робіт у машинобудуванні в загальній структурі трудомісткості виготовлення виробів складає 25-40%, у приладобудуванні – близько 40-70%. Питома вага основних фондів складального виробництва у машинобудуванні становить 5-10% основних фондів виробництв. Як наслідок, у машинобудуванні механізовано 25-30%, а автоматизовано 5-6% складальних операцій [9,10]. Причини такого відставання полягають у допущених раніше помилках, що виявилися у незбалансованості капіталовкладень в різні галузі. Також значної шкоди машинобудуванню у свій час було завдано відсутністю розробки і впровадження нових видів інформаційних технологій, наявністю програмного забезпечення низької надійності, несумісністю засобів обчислювальної техніки [10].

Питаннями удосконалення складальних процесів займалися відомі вчені: Арпентьєв Б. М., Белянін П. Н., Гавриш А. П., Гусєв А. А., Захаров М. В., Зенкін А. С., Корсаков В. С., Копп В. Я., Лебедовський М. С., Новиков М. П., Павлов В. В., Федотов А. І., Пасічник В.А. та інші.

Практика показує, що скорочення складальних процесів по тривалості виробничого циклу дозволяє знизити трудомісткість і собівартість виробів. Але вирішення даної проблеми потребує комплексного підходу з урахуванням усіх складових виробничого процесу. Тільки в цьому випадку можливе отримання необхідного ефекту [11].

1.1 Аналіз питання, що досліджується

Сучасний стан складальних процесів характеризується високою трудомісткістю складальних робіт, що мають тенденцію до подальшого

зростання. Це пов'язано з ускладненням конструкцій виробів і постійним розширенням їх номенклатури.

1. Низьким рівнем механізації і автоматизації складального виробництва.

2. Використанням низькокваліфікованої та монотонної ручної праці.

3. Нетехнологічністю деталей і складальних одиниць на виробництвах з різним рівнем механізації і автоматизації.

4. Низьким рівнем якості технології та організації складального процесу.

Удосконалення складальних процесів у машинобудуванні почалося на 15-20 років пізніше, ніж у механообробному виробництві. Це зумовлювалося двома факторами: можливістю вручну зібрати будь-який механізм і складністю автоматизації складальних операцій. При цьому спеціальні складальні машини, як правило, дорогі у використанні і вимагають значного часу на їх виробництво. Вироби, що випускаються, навпаки, мають тенденцію до скорочення життєвого циклу. У цих умовах складальне обладнання зазнає морального старіння швидше ніж їх фізичне зношення [12], [13], [14].

Наприклад, у легковому автомобілебудуванні середній термін випуску моделі становить 5-7 років, а цикл служби обладнання 15-20 років. У автомобільній промисловості і виробництві побутової радіоелектронної апаратури великі фірми змінюють модель виробу, що випускається через 5-6 місяців після початку її виробництва [15]. У зв'язку з цим виникла необхідність у створенні гнучких складальних систем, здатних переналагоджуватися в міру зміни виробів. Однак такі системи є дорогими у використанні і поки що відсутні надійні технічні засоби для їх реалізації. У результаті більшість складальних операцій виконуються вручну. Це призводить до залучення на процес складального етапу великої кількості людей, праця яких одноманітна, низькоефективна та не забезпечує високої якості готових виробів [16]. Тому основними напрямками розвитку наукових основ технології складання у машинобудуванні є автоматизація складальних процесів, яка призводить до

підвищення якості виробів, зниження трудомісткості та собівартості складальних операцій. Однак, для досягнення необхідного ефекту, при вирішенні існуючих проблем необхідний комплексний підхід з урахуванням усіх складових виробничого процесу.

Технологічне проектування складальних робіт поділяється на два взаємопов'язаних етапи:

- 1) визначення послідовності складання елементів виробу;
- 2) проектування робочого технологічного процесу складання.

На першому етапі вирішуються наступні завдання:

- вибір схеми базування елементів складальної одиниці;
- вибір конструктивної схеми і складального пристосування;
- вибір схеми оснащення;
- вибір можливих послідовностей установки елементів складальної одиниці з урахуванням умов базування і доступу в зону складання;
- вибір оптимальної послідовності установки елементів складальної одиниці:

На другому етапі вирішуються такі завдання:

- вибір складу і послідовності виконання операцій з'єднання при заданій послідовності установки елементів складальної одиниці;
- вибір складу оснащення, інструменту, обладнання та допоміжних матеріалів;
- визначення складу і кваліфікації виконавців;
- розрахунок техніко-економічних показників і вибір оптимального варіанту технологічного процесу складання.

На сьогоднішній день перед машинобудівниками гостро стоїть проблема забруднення навколишнього середовища, тому необхідно розробляти методи та технології виробництва, які дозволять мінімізувати шкідливий вплив на природу та стан здоров'я працюючих людей під час виробництва [17].

На етапі складання до екологічно несприятливих відносять операції, реалізація яких супроводжується використанням токсичних матеріалів, підвищеним шумом, вібрацією, температурами, радіацією. До таких складальних операцій відносяться: зварювання, спаювання, склеювання, з'єднання з натягом та інші. Тому разом із прагненням підвищити техніко-економічні показники складального виробництва необхідно враховувати його вплив на екологію довкілля та безпеку умов праці працівників.

Стан робочого середовища змінюється на протязі усієї робочої зміни [17]. Це впливає на ритмічність технологічного процесу складання та якість виробів. Тому важливо проектувати таку послідовність складання при якій, екологічно несприятливі складальні операції знаходяться, якщо це дозволяє конструкція виробу та структура виробничої системи, у кінці технологічного процесу з метою виконання таких операцій на окремо обладнаних виробничих ділянках, захищених від зовнішнього середовища, з використанням спеціального захисного одягу та, за можливості, автоматизації небезпечних робіт [17], [18].

На жаль питанням екології мало приділяється увага під час розробки технологічних процесів складання.

1.2 Шляхи удосконалення складальних процесів

Розглянемо деякі приклади удосконалення складальних процесів на виробництві.

Цікавим напрямом розвитку автоматизації є використання складальних комплексів на підприємствах таких автомобільних фірм, як "Фіат" і "Вольво". Складальний вузол проходить через складальні позиції на роботизованому комплексі. У даному випадку автоматизована не уся складальна лінія, а лише декілька складальних ділянок [19].

У системі, що розроблена фірмою "Фіат", автоматичне складання виконують на чотирьох лініях, скомпонованих у вигляді окремих ділянок. На

інших ділянках процес складання виконується вручну. Система управляється централізовано програмно, застосовано 37 роботизованих установок [19].

Під час автоматичної реалізації більшості складальних операцій (70 - 80%) здійснюється установка деталей вертикально. За повідомленням фахівців лабораторії "Чарльз Старк дрейпер лаборатори" (штат Массачусетс, США) 60% деталей при складанні подають з одного напрямку, 20% - з протилежного, 10% - під прямими кутами до цих напрямів і 10% - з інших напрямів [19]. Приведені дані дозволяють зробити висновок, що для виконання складання досить мати наявності механічний пристрій з трьома степенями рухливості .

Науковці визначили основні напрямки, за якими відбувається скорочення тривалості складальних процесів [20–22]:

- одночасна установка кількох базованих складальних одиниць (СО) на базову;
- зменшення кількості установів і позицій (тобто робочих рухів);
- здійснення паралельної реалізації окремих складальних вузлів.

Існують основні правила та положення, що доведені практикою та використовуються під час реалізації складальних процесів з метою скорочення тривалості виробництва [23], а саме:

- 1) складання окремих СО можуть здійснюватись паралельно та незалежно одна від одної;
- 2) необхідно здійснювати поділ виробу на максимально можливу кількість складальних одиниць (СО);
- 3) з метою економії часу на міжопераційне транспортування, для однієї СО слід визначати такі складальні операції, виконання яких можливе на одному робочому місці;
- 4) до СО не повинні входити деталі, які під час складання обмежують доступ до місця установки у виробі іншим деталям, що не входять до складу поточної СО;

Одним із новітніх напрямків у складальному виробництві є модульне проектування [24–26]. В основу модульного проектування складального

виробництва покладені різні виробничі модулі: конструкційні, транспортні, технологічні, організаційні, позавиробничі. Основною характеристикою модульного складання є гнучкість та можливість швидкого переналагодження на складання виробів довільної номенклатури [25].

На машинобудівних підприємствах промислово розвинених країн, таких як США, Японія, Німеччина, автоматизовано близько 70% всього обсягу складальних робіт [22,26]. Водночас відмічається їх низький рівень автоматизації на Україні – до 5-7% [22].

Для багатосерійного виробництва автоматизацію складальних операцій здійснюють шляхом застосування автоматичних ліній, складальних роботів, додаткових допоміжних механізмів (для підйому, транспортування тощо), складального устаткування для серійного та малосерійного виробництва. Найбільший техніко-економічний ефект досягається від використання автоматичних ліній [27,28]. Використання гнучких виробничих систем дозволяє швидко адаптуватися під потреби ринку з мінімальними витратами на перебудову та переналаштування складального устаткування, має здатність до автономного функціонування, проста у налаштуванні [25,26]. Реалізація гнучких автоматизованих виробництв дозволяє підвищити рівень складального виробництва, зменшити обсяги з'єднань, виконаних вручну, підвищити якість, зменшити собівартість виробів, підвищити показники ефективності праці.

Показник роботизації складального виробництва у розвинених країнах (США, колишні країни СНД) становить 30-35%. Лідером у показнику роботизації складальних операцій є Японія – близько 80% [19].

З'єднання, виконані з використанням сучасних методів та комп'ютерних технологій дозволяють підвищити їх довговічність на 25-30% [19,22,28]. Одночасно відмічається низька якість з'єднань, що були виконані за недосконалими та застарілими технологіями.

Так як споживчі та тактико-технічні якості виробу залежать від технологічної підготовки складальних робіт, необхідно проводити

автоматизацію процесів складальних схем виробів.

Для формального представлення процесу проектування послідовності складання використовується граф, який описує наявність зв'язків базування між складальними одиницями виробу та матриця обмеження доступу установки деталей, яка містить інформацію про порядок виконання складальних операцій. Вершини графа зв'язків представляють собою складальні елементи виробу, а ребра – наявність механічного зв'язку між ними. Недолік графа механічних зв'язків полягає у неможливості отримання точного опису наявності базування між деталями виробу. Для більш точного представлення зв'язків базування використовують гіперграф, який точніше відображає зв'язки базування між СО виробу [20].

На вибір послідовності складання впливає велика кількість факторів: конструкторсько-технологічні характеристики виробу, рівень механізації та автоматизації, організаційна структура виробництва, тощо. Тому для автоматизації процесу синтезу складальної схеми існують підходи, які засновані на технологіях штучного інтелекту [29,30].

Однією з перших розробок у сфері моделювання послідовності складання є система STRIPS на основі штучного інтелекту, яка дозволяла виконати раціональну послідовність складання невеликої кількості (до десяти) простих складальних елементів у задану конфігурацію за допомогою робота [30].

Експертна система KBESA призначена для синтезу та аналізу отриманих конструкторських рішень під час технічної підготовки виробництва. Система допомагає прийняти варіант конструкції виробу, яка забезпечує мінімальні часові витрати на реалізацію складання виробу [22].

Таким чином:

– підвищення ефективності складання можна реалізувати за рахунок проектування такої послідовності складання виробу, яка передбачає автоматизацію та роботизацію даного процесу. Тому основним науковим

напрямок з розвитку та удосконалення технологічних процесів складання є впровадження сучасних комп'ютерних технологій;

- приклади удосконалення складальних процесів показують, що при рішенні даної задачі необхідно, з використанням системного підходу, враховувати усі критерії виробничого процесу;

- важливою задачею при оптимізації складальних процесів є знаходження раціонального по послідовності варіанту складання. Від обраного варіанту складання виробу залежить його якість, продуктивність робіт, собівартість, тривалість виробничого циклу.

1.3 Існуючі підходи до побудови раціональної послідовності складання виробів

В даний час технологічні процеси проектуються двома основними методами: евристичним і алгоритмічним. Алгоритмічний метод заснований на використанні системного підходу і математичного моделювання [21,22].

Алгоритмічний метод проектування технології складання поділяється на дві основні частини [31]. Перша частина – процес формування схеми складання, що містить інформацію про порядок приєднання елементів виробу, комплектність складальних одиниць і з'єднань. Друга частина – процес формування операцій, що включає визначення складу елементів, які з'єднуються, видів робіт, засобів і інших параметрів, що описують складальні операції [31].

На рисунку 1.1 показано структуру автоматизованої системи проектування технологічних процесів складання [31].

Математична модель виробу, що підлягає складанню і побудована у результаті обробки вхідної інформації, є основою для побудови у відповідності до закладеної алгоритмічним і програмним забезпеченням множини оптимальних послідовностей складання.

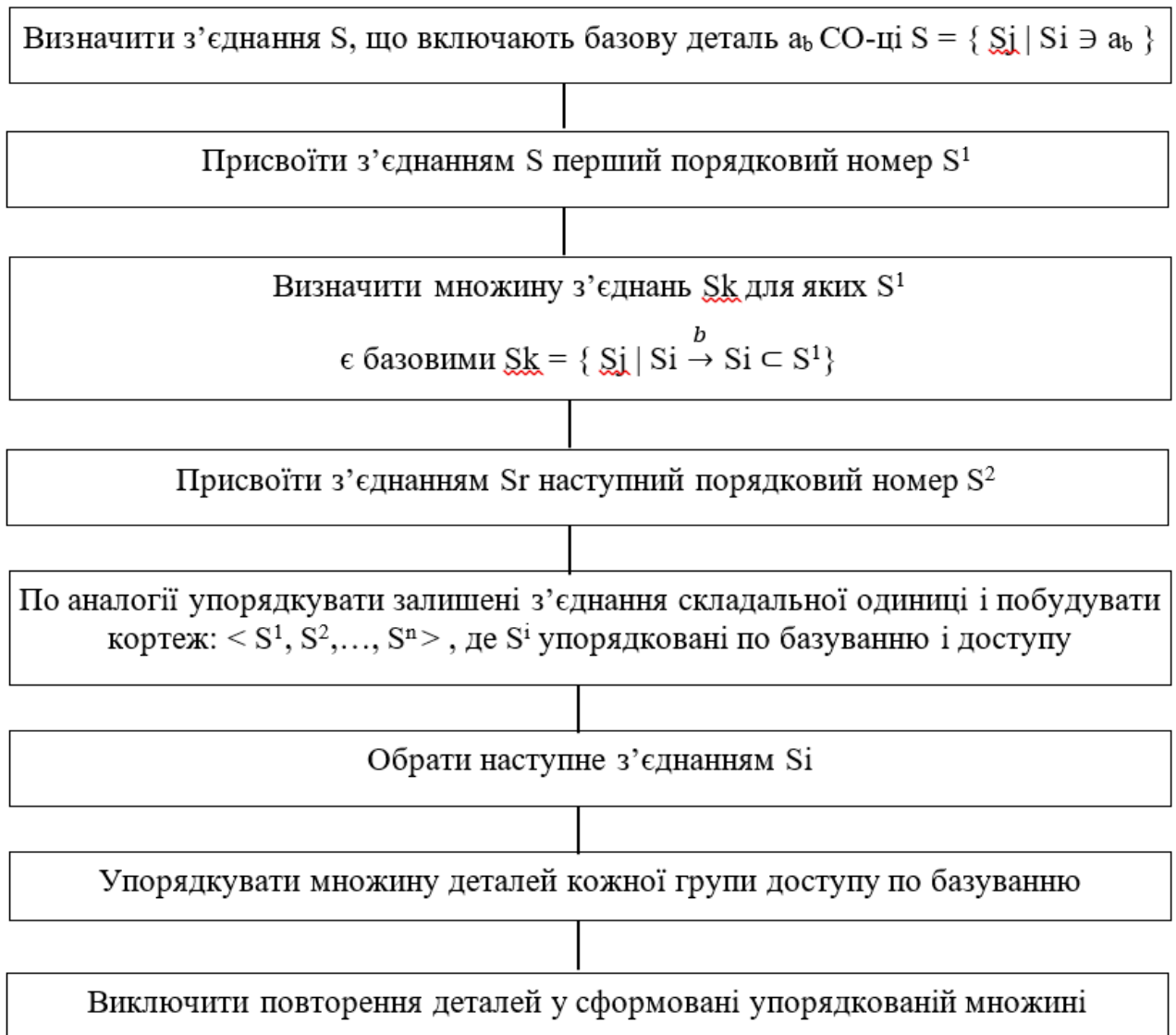


Рисунок 1.1 – Структура автоматизованої системи технології складання

Для невеликої кількості складальних елементів таку множину можна отримати простим перебором варіантів. Однак, для багатоеlementного складання кількість можливих перестановок зростає настільки, що їх повний перебір стає практично неможливим навіть при використанні програмного забезпечення. У цьому випадку досягнення оптимального рішення можливе лише шляхом побудови моделі складального процесу, що охоплює всі множини послідовностей складання і забезпечує цілеспрямований пошук оптимального варіанту [23].

Перевагою користується підхід, що полягає у аналізі спряжених по спільним геометричним контурам окремих деталей виробу, який підлягає складанню з метою встановлення можливості базування деталей у процесі складання і можливості виконання робочим оснащенням відповідних геометричних рухів у просторі. Для забезпечення можливості повного аналізу варіантів послідовності складання без їх перебору, узагальнену модель багатоваріантного складання доцільно будувати на основі поняття про стан виробу. При цьому вирішується задача виявлення залежностей між конструктивно-технологічними особливостями виробу, що задаються його інформаційною моделлю, і структурою моделі багатоваріантного складального процесу, що реалізує ці особливості у відношенні до технології складання виробу, з метою подальшого аналізу і вибору оптимального варіанту [20,21,23].

Достатнім для представлення багатоваріантного процесу складання є отримання формальних умов базування і доступу до місця установки кожної з приєднаних деталей. При цьому умова базування служить для визначення місця даної деталі в ієрархічній структурі виробу, оскільки визначає необхідний взаємозв'язок між деталями вузла, а умова доступу обмежує можливість установки деталі або вузла у потрібне місце, задаючи порядок входження елементів у виріб.

Задачу визначення раціональної послідовності складання відносять до класу слабо структурованих та таких, що важко піддаються формалізації [13,32]. В роботі [11] для рішення даної задачі було використано теорію підтримки прийняття рішень. В роботах [12,21,22,28] для проектування технологічних процесів складання застосовують методи штучного інтелекту, теорію графів, матриць, множин. В [33] запропонована оптимізація виробничого циклу із застосуванням часових технологічних ланцюгів.

У складних випадках при багатокomпонентній варіації складання визначення оптимальних варіантів по послідовності складання здійснюється за стандартними алгоритмами рішення транспортної задачі, що полягає у

знаходженні найкоротшого шляху на графі методами лінійного і динамічного програмування [21,27]. При цьому, кожній лінії зв'язку сітьової моделі (кожному ребру графа) присвоюються дані, що характеризують показник оптимізації, наприклад час складання, собівартість та ін.

Тоді задача вибору оптимального варіанту послідовності складання методом лінійного програмування формулюється так [21,27]:

мінімізувати:

$$\sum_{ij \in \text{мережі}} k_{ij} z_{ji}$$

при обмеженнях:

$$z_{jb} - z_{bi} = \begin{cases} 1 & \text{для } b = n \\ 0 & \text{для проміжних } b \\ -1 & \text{для } b = k \end{cases}$$

де $z_{ij} \geq 0$ для всіх зв'язків мережі;

b – номер вершини мережі;

n – номер початкової вершини (витоку) мережі;

k – номер кінцевої вершини (стоку) мережі;

jb - витоки дуг з вершини b , bi означає, що до вершини b входять дуги з попередніх вершин i .

Для розробки алгоритму знаходження найкоротшого шляху формулюють двоїсту задачу: максимізувати $A_k + A_s$ при обмеженнях $A_i - A_j \leq k_{ij}$ для всіх ij , що належать мережі, де A_s - змінна двоїстої задачі, яку можна інтерпретувати як номер досліджуваної вершини, що визначається рекурентно.

На попередньому етапі упорядкування нумерують вершини графа від 1 до n , починаючи з кінцевої, присвоюючи їй номер 1 (A_1); вихідна вершина моделі отримує номер n (A_n). При присвоєнні нумерації вершинам для кожної дуги повинно забезпечуватись виконання умови $j < i$.

Алгоритм відшукування найкоротшого шляху складається з двох кроків:

$A_1 = 0$ (сток моделі); $A_i = \min (k_{ij} + A_j)$, $i = 2, \dots, n$, що дозволяє визначити величину A_i в порядку нумерації вершин.

Багатоваріантність різних способів складання багатокomпонентного виробу обумовлює складність аналізу мережевої моделі. Скоротити обчислювальні процедури при вирішенні задачі оптимізації послідовності складання виробу дозволяє метод динамічного програмування. Особливістю цього методу є те, що яким би не був шлях досягнення певної вершини $z_s \in z$ у мережевій моделі, наступні рішення повинні належати оптимальному пошуку рішення для частини шляху, який починається з цієї вершини z_s . Оскільки в загальному вигляді модель процесу складання є детермінованою, рішення призводить до однозначного результату.

У загальному вигляді рішення задачі представляється рекурентним співвідношенням:

$$F(c) = \min_{\text{по всім } ij \in \text{мережі}} [k_{ji} + F_{m-1}(j)], \quad m = 1, 2, \dots$$

це означає, що необхідно обчислити всі можливі значення цільової функції $F(c)$, що відповідають різним шляхам рішення, підсумовуючи відповідні числові показники чергового кроку ітерацій k_{ij} від вершин z_i і значення цільової функції $F_{m-1}(j)$, що відповідає оптимальному шляху рішення від вершини z_j , з якої до кінця шляху залишається тільки $(m - 1)$ крок. Така обчислювальна процедура називається рекурентним алгоритмом. Використання в цих алгоритмах принципу оптимальності позбавляє від необхідності перебору всіх допустимих рішень і різко скорочує кількість обчислювальних процедур під час програмної реалізації.

Технологічна оптимізація процесів автоматизованого складання передбачає визначення оптимального варіанту послідовності по характеристикам необхідних технічних засобів. Цілеспрямований пошук оптимального варіанту здійснюється автоматично або у діалоговому режимі шляхом порівняння можливих послідовностей або їх частин, які обираються при аналізі моделі багатоваріантного процесу складання. Особливості

оптимізації процесів роботизованого складання передбачають визначення оптимальної послідовності складання з урахуванням кінематичних можливостей роботів і взаємного розташування складального обладнання. На наступних етапах відібрані рішення можуть бути перевірені за характеристиками необхідного або наявного обладнання і в разі їх відповідності, проведена оптимізація компонованого рішення складального комплексу по послідовності складання [20,34].

У роботі [31] проводиться схема алгоритму визначення послідовності складання виробів, на основі якого введення вхідної інформації виконується у ручному режимі. До обмежень алгоритму слід віднести ручне введення заздалегідь складених схем базування і доступу для вирішення кожної конкретної задачі і ручна обробка інформації, що виводиться, що, крім суб'єктивної оцінки, призводить також до значних часових витрат, як при формуванні даних умов, так і при обробці значного обсягу виведеної інформації.

Певною мірою цих недоліків позбавлений алгоритм вибору оптимальної послідовності з'єднання складальних елементів, який забезпечує рішення задачі у режимі діалогу комп'ютер-технолог і побудований на основі попереднього шляхом додавання до нього масиву базування деталей M розмірністю N (кількість деталей у виробі) і змінної, що визначає місце елемента у масиві M , а також змінної Y , що служить для розмежування етапів вибору.

Особливістю роботи алгоритму є послідовність запису до масиву M всіх елементів, установка яких можлива на місце, що визначається змінною Y в оптимальній послідовності складання. Наприклад, якщо здійснюється вибір базової деталі ($Y = 1$), то відповідно до алгоритму переглядаються варіанти, що відрізняються значеннями першого ($J = 1$) елемента, кожен з яких займає чергове місце у масиві M . Після того, як варіанти установки будуть вичерпані, комп'ютерна система пропонує технологу, на підставі отриманих даних, вибрати з набору масиву M той елемент, установка якого на даному місці по

послідовності найбільш доцільна. Якщо у масиві M виявиться тільки один елемент, обчислення тривають у автоматичному режимі без звернення до технолога. Після вибору технологом відповідного елемента подальший пошук триває у тому ж порядку при значеннях $Y = 2$ і $J = 2$, потім $Y = 3$ і $J = 3$ і т.д. При цьому елемент, обраний технологом, зберігає своє місце та на наступних етапах не підлягає повторному перегляду [31]. Зазначимо, що у даному алгоритмі не виключається участь людини на етапі визначення виконання умов базування і доступу.

Технологічні процеси характеризуються великою кількістю елементів, складними зв'язками між ними, впливом стохастичних факторів, тому великого значення для подальшого розвитку набуває розробка імітаційних моделей складальних процесів.

Комп'ютерне моделювання та імітація використовуються як метод підтримки прийняття рішень, коли аналітичні моделі занадто складні або їх не можливо побудувати. Залежно від практичних застосувань виділяють два основних імітаційних методи моделювання виробничих процесів [35]:

- методи неперервного моделювання, в яких характерною особливістю є використання неперервних функцій у формальному описі характеристик змінних стану системи і неперервних або квазінеперервних функцій при описі часу інтенсивності надходження об'єктів до системи;

- методи дискретного моделювання, де дискретні функції використовуються як при формальному описі характеристик змінних стану системи, так і при описі зміни модельного часу. Зміни станів модельованої системи відбуваються у дискретні моменти часу, наприклад, метод планування подій, метод аналізу і вибору дій, метод взаємодії процесів.

Імітаційне моделювання застосовується у багатьох областях науки з метою вивчення складного процесу, що заміняється спрощеною моделлю, яка відображає його функції [36].

У [37] за допомогою імітаційного моделювання досліджена

продуктивність гнучких автоматизованих складальних ліній з різною структурою. Результати показали, що продуктивність може бути збільшена з 48% до 96%.

В роботі [23] послідовність підготовки програм, що керують процесом складання має наступні етапи: об'єкт складання → схема складання → рухи процесу складання → траєкторії переміщення об'єкта складання → геометрична модель складального робота → програма управління роботом. Загальна ідея методу полягає у використанні засобів імітаційного моделювання для підготовки опорних точок локальної траєкторії, що описує кінематичні рухи складальних елементів у просторі і подальшої передачі їх у програмну систему управління робота, що виконує складання.

У роботі [22] пропонується підхід заснований на використанні принципів евристичного програмування, що на основі аналізу геометричних особливостей складальних елементів виконує побудову локальної траєкторії в САПР для руху деталей у просторі під час складання та подальшу передачу опорних точок побудованої траєкторії до програмної системи управління складальним роботом.

Використання комп'ютерних технологій при проектуванні технологічних процесів дозволяє скоротити терміни і підвищити їх якість [16]. Сучасні системи підготовки керуючих програм для складальних процесів є складними і дорогими експериментальними комплексами [22,28,31].

У даний час. Як показує проведений аналіз, важливим показником якості існуючих моделей і методів складання є можливість широкого використання обчислювальної техніки для вирішення поставлених задач у автоматичному режимі. Однак, до теперішнього часу структура і методи побудови інформаційної моделі виробу для вирішення задач побудови і аналізу раціональних складальних процесів, що включають подетальне і вузлове складання, формалізовані недостатньо і залишаються до кінця не вирішеними [12].

Проведений аналіз показує, що накопичено певний досвід у вирішенні задач побудови послідовності складання виробів та виявлені закономірності її побудови. Однак, запропоновані методи і підходи не враховують ряд важливих факторів, необхідних для автоматизованого вирішення задачі синтезу раціональної послідовності складання. Порівняльний аналіз існуючих методів приведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз існуючих методів, що використані при рішенні задачі побудови послідовності складання виробів

Критерії, що враховуються \ Метод	Динамічне програмування	Лінійне програмування	Штучний інтелект	Імітаційне моделювання
Точність виготовлення деталей	+	+	+	-
Вимоги техніки безпеки та екології	-	-	-	-
Ієрархічна будова виробу	+	+	+	-
Розмірні зв'язки між СЕ	-	-	+	+
Маса, габаритні розміри СЕ	-	+	+	-
Структура виробничої ділянки та можливості ОК	-	-	+	+
Схема базування	+	+	+	+
Схема доступу	+	+	+	+

1.4 Мета та задачі дослідження

Виконаний аналіз літературних джерел дозволяє зробити такі висновки:

1) На практиці спостерігається значна роль складальних процесів у загальній трудомісткості виготовлення виробів, водночас відмічається низький рівень механізації і автоматизації складальних процесів. Вирішити завдання

ефективного вдосконалення складального виробництва можна шляхом впровадження програмних та інформаційних технологій, використання методів математичного та ситуативного моделювання.

2) З одного боку схема складання відображає поділ виробу на складові частини і тому характеризує його структуру, а з іншого – відображає структуру виробничої ділянки (або структуру автоматизованого складального комплексу). Тому якісне рішення задачі визначення послідовності складання дозволяє не тільки визначити технологічну раціональність конструкції виробу, а й закласти основи ефективного функціонування виробничої системи.

3) Критерієм якості технологічного проектування може бути тривалість виробничого циклу, яка впливає, як на продуктивність виробничої системи, так і на собівартість виробів, що випускаються. Знаходження шляхів скорочення тривалості циклу дозволяє оптимізувати технологічний процес за даним критерієм на стадії його проектування.

4) При визначенні послідовності складання виробів необхідно враховувати не тільки схему базування і схему доступу, а й характеристики точності деталей, екологічні обмеження на послідовність складання, а також технологічні закономірності, що дозволяють мінімізувати кількість перестановок при складанні, напрямки переміщення деталей і складальних одиниць до місця установки, технологічні можливості складального обладнання і структуру виробничого підрозділу.

У запропонованих та описаних у попередніх розділах існуючих методах і підходах до побудови послідовності складання виробів не враховуються такі фактори, як точність виготовлення деталей, їх габаритні розміри і маса, екологічні вимоги та вимоги техніки безпеки щодо виконання складальних операцій. Тому потрібна подальша робота у напрямку формалізованого опису задачі синтезу раціональної послідовності складання виробів. Це зумовило визначення в роботі об'єкту, предмету, мети дослідження та постановки задач.

Об'єкт дослідження — послідовність складання виробів машинобудування.

Предмет дослідження — моделі для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Метою роботи є розробка моделей для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- з використанням теорії графів і матриць розробити математичні моделі, що відображають необхідні характеристики складальних елементів та дозволяють автоматизувати процес побудови послідовності складання виробів;
- на основі отриманих математичних моделей виконати розробку алгоритмічного і програмного забезпечення рішення задачі;
- розробити моделі для інформаційної технології синтезу раціональної послідовності складання виробів.

2 ВИБІР МЕТОДУ РІШЕННЯ

2.1 Вибір методів дослідження

Математичні основи, що використовуються для опису складальних процесів включають методи оптимізації та чисельні методи, імовірнісні, методи дискретної математики, теорії графів [38,39];

Для знаходження оптимального варіанту прийняття рішення застосовуються методи лінійного, нелінійного і динамічного програмування [16,22]. Іноді, через велику складність задач не вдається побудувати чітку математичну модель [40]. У цьому випадку використовують методи експериментальної оптимізації: випадкового пошуку, багатофакторного аналізу, найшвидшого спуску [12,16,34,38].

Розробка моделей технологічних процесів складання пов'язана з наявністю великої кількості логічних зв'язків, які не завжди можна уявити кількісними залежностями. Тому закономірності, що враховують такі зв'язки, формалізують за допомогою методів дискретної математики: теорії множин, математичної логіки, теорії алгоритмів, теорії графів, лінгвістики, штучного інтелекту [29,30,41];

Проектування технологічних процесів складання значним чином пов'язане з використанням комп'ютерної техніки, що потребує формалізованого опису технологічного процесу складання. Для цього необхідно виявляти закономірності процесу складання та розробляти методи його математичного опису та моделювання [21,22,27].

В даний час велика увага приділяється вдосконаленню методів фізичного і математичного моделювання з метою забезпечення оптимального проектування, виготовлення і експлуатації виробів. Технологічні процеси характеризуються великою кількістю елементів, складними і різноманітними зв'язками між ними. Традиційні методи аналізу таких об'єктів не дозволяють

будувати моделі і описувати такі важливі їх характеристики, як функція, багаторівнева організація і структура самих властивостей складних об'єктів і процесів. У зв'язку з цим велике значення для подальшого розвитку теорії і методів проектування набуває розробка математичних моделей, що базуються на системному підході до проектування об'єктів виробництва та технологічних процесів [14,23,31,34].

Використання системного підходу також має велике значення при технічному переозброєнні виробництва. Багато підприємств машинобудування мають 35-50% застарілого обладнання. Правильний вибір стратегії переозброєння дозволяє знизити витрати і підвищити ефективність їх роботи [18,20,21,42].

Математичні основи, що використовуються при автоматизованому проектуванні, включають методи оптимізації та чисельні методи, імовірнісні методи і методи дискретної математики [22].

Важливим завданням при оптимізації технологічних процесів є правильний вибір критерію та цільової функції при оптимізації технологічного проектування [23,37].

До характеристик якості виробничого процесу як правило відносять величину незавершеного виробництва, тривалість виробничого циклу та ін. [25,31]. При синтезі виробничих систем у якості критерію оптимізації найчастіше виступають такі характеристики: вартість, продуктивність, тривалість виробничого циклу, обсяг незавершеного виробництва, надійність [26,27].

Основними вимогами до технологічного процесу складання є: забезпечення високої якості виробів; мінімальний цикл складання; мінімальна трудомісткість складальних робіт [12,33].

Під час виконання роботи також було проаналізовано функціональні можливості сучасного конструкторського програмного забезпечення: 3D-max, Solid Worsk, Inventor, КОМПАС, AutoCad. У результаті встановлено, що

програмне забезпечення дозволяє виконати тривимірне твердотільне моделювання об'єктів (деталей, складальних одиниць, виробів), дозволяє реалізувати процес складання виробу, переглянути реалізовану послідовність складання у готовій моделі виробу. Але під час реалізації процесу складання у середовищі сучасних програмних додатків відсутня можливість задавати вхідні дані, що враховують екологічні фактори складальних операцій, характеристики точності окремих деталей, їх габаритні розміри та ін. критерії, які необхідно враховувати для сформування раціональної послідовності складання.

Таким чином виникає необхідність у розробці алгоритмічного та програмного забезпечення, яке дозволить автоматизувати процес побудови раціональної по тривалості виробничого циклу послідовності складання.

Оскільки складальні процеси характеризуються наявністю великої кількості елементів, складністю та різноманітністю зв'язків між ними, то методи класичної математики не дозволяють описати властивості та характеристики складальних об'єктів процесів, тому у даній роботі для вирішення поставлених задач було використано наступні методи:

1) системний підхід, – дозволяє одночасно розглядати виріб як єдине ціле та як сукупність окремих складальних елементів та їх взаємозв'язків. Дозволяє врахувати структуру виробу, його функціональне призначення,

2) теорія графів, – дозволяє представити структуру виробу у вигляді орієнтованого графа у якому: вершини графа позначають складальні елементи, а дуги – співвідношення між ними;

3) теорія матриць, – дозволяє будувати інформаційні моделі виробу з урахуванням характеристик складових елементів: габаритний розмір, маса, точність з'єднання, наявність базування, доступу, екологічні фактори складального процесу,. Дані, представлені у вигляді матриць дають можливість зберігати та опрацьовувати їх у формі, зручній для програмної реалізації.

2.2 Формалізація задачі синтезу раціональної послідовності складання виробів

Дослідження, проведені у роботі [5] дозволили встановити аналітичні залежності для розрахунку числа можливих варіантів складання виробу, що залежать від типу технологічної схеми складання.

Відомо [5], що існують схеми трьох структурних видів складання виробів: послідовного, мінімально-паралельного та максимально-паралельного структурного виду. Встановлено, що для однієї і тієї ж кількості деталей у виробі для послідовного структурного виду тривалість процесу складання $T_{noc.}$ є найвищою, дещо меншою є тривалість складання для мінімально-паралельного виду $T_{min.-n.}$ і найнижчою – для максимально-паралельного структурного виду $T_{max.-n.}$ ($T_{noc.} > T_{min.-n.} > T_{max.-n.}$). Таке співвідношення по тривалості циклу складання підтверджується графічним відображенням структурних схем (рисунок 2.1)[5].

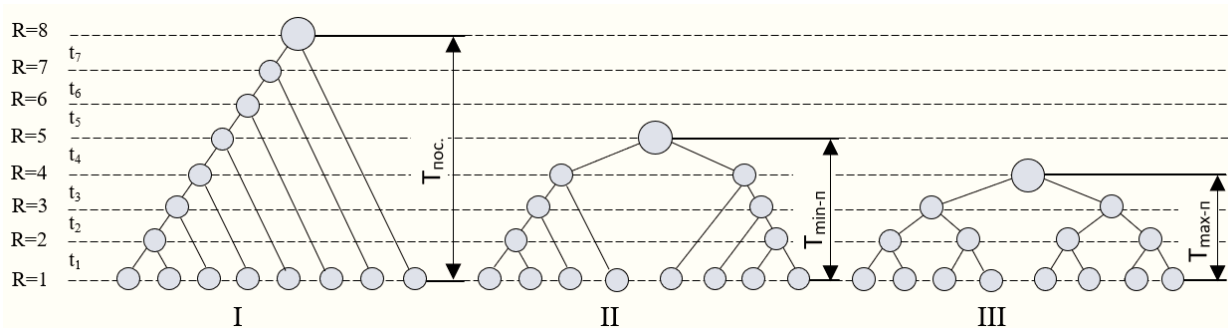


Рисунок 2.1 – Графи технологічних схем для виробу з 8 деталей [5]: I – послідовний вид; II – мінімально-паралельний вид; III – максимально-паралельний вид

Визначено, що для послідовного структурного виду кількість можливих варіантів складання виражається залежністю [5]:

$$V_{т.п.} = \frac{1}{2^{(N-1)}} N(N-1)^2(N-2)^2(N-3)^2 \cdot \dots \cdot 2^2 \cdot 1 = \frac{1}{2^{(N-1)}} N!(N-1)!$$

де N – кількість складових елементів у виробі.

Для мінімально-паралельного структурного виду маємо таку залежність [5]:

$$V_{T.min-p.} = \begin{cases} \frac{1}{4^{\binom{N-1}{2}}} \left(1 + \frac{N}{2}\right)! \left(\frac{N}{2}\right)^2 \left[\left(\frac{N}{2}-1\right)!\right]^4, & \text{якщо } N - \text{ парне } (N \geq 4) \\ \frac{(N+1)}{4^{\binom{N-1}{2}}} \left[\left(\frac{N-3}{2}\right)!\right] \left[\left(\frac{N-1}{2}\right)!\right]^3, & \text{якщо } N - \text{ не парне } (N \geq 5) \end{cases}$$

Для структурного виду максимально-паралельного типу:

$$V_{T.max-p.} = \prod_{k=1}^{\lceil \log_2 N \rceil} \left(\left\lfloor \frac{N}{2^{k-1}} \right\rfloor - 1 \right) \left(\left\lfloor \frac{N}{2^{k-1}} \right\rfloor - 3 \right)$$

При аналізі отриманих формул виявлено, що при збільшенні кількості складальних елементів у виробі, спостерігається різке зростання розрахункових значень $V_{T.n.}$, $V_{T.min-p.}$, $V_{T.max-p.}$.

Тому при побудові послідовності складання необхідно використовувати ряд обмежень для відсіювання непотрібних варіантів і отримання множини практично реалізуємих варіантів складання.

З метою вирішення даної задачі програмним шляхом, розробимо математичні моделі, що враховують певні обмеження та дозволяють скоротити кількість варіантів складання.

Кожна складальна одиниця (СО), що входить у виріб виконує в ньому певну функцію. Виконання функцій забезпечується взаємозв'язком між складовими елементами виробу. У конструкції взаємозв'язок між складовими елементами проявляється наявністю зв'язків сполучення і положення між відповідними поверхнями. Якщо між двома деталями існує зв'язок базування, то вони сполучаються по спільному контуру. Серед множини зв'язків базування виділяються основні і допоміжні. Допоміжні зв'язки реалізуються як наслідок реалізації основних. Між двома складальними елементами (СЕ) у конструкції існує основний зв'язок базування у випадку, якщо між ними існує певний вид складального з'єднання. Базування дає уявлення про взаємне положення СЕ в конструкції виробу. Інформацію про зв'язки базування представимо у вигляді

матриці $BAS_{[K \times K]}$, де K – кількість елементів, які увійшли до складу виробу. Елементи матриці:

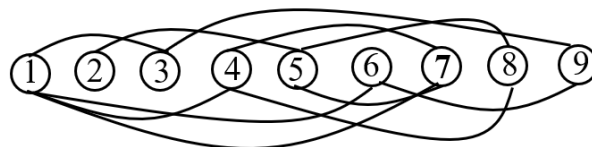
$$BAS_{I,J \ I \neq J; I, J = \overline{1..K}} = 1, \text{ якщо між } I\text{-м і } J\text{-м СЕ-ми існує вид з'єднання};$$

$$BAS_{I,J \ I \neq J; I, J = \overline{1..K}} = 0, \text{ у протилежному випадку.}$$

Інформація, представлена у вигляді матриці, зручна для зберігання її у пам'яті комп'ютера. Більш наочно цю інформацію можна уявити неорієнтованим графом GB , у якому вершини – це СЕ, а ребра пов'язують I -ту і J -ту вершини в тому випадку, якщо I -й і J -й СЕ-ти мають основний зв'язок базування. Достатньою інформацією для побудови матриці $BAS_{[K \times K]}$ і графа GB є креслення виробу. На рисунку 2.2 показаний приклад побудови матриці і графа базування для виробів із дев'яти деталей.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	1	1	0	1	1	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	0	1	1	0
5	0	1	0	0	0	0	1	1	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	1
7	1	0	0	1	1	0	0	0	0
8	0	0	0	1	1	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	1	0	0	0

I)



II)

Рисунок 2.2 – Матриця і граф наявності зв'язків базування для виробу із дев'яти деталей: I) – матриця зв'язків базування; II) – граф зв'язків базування

орієнтація одних деталей відносно У конструкції інших визначається не лише Крім безпосереднього контакту між поверхнями, відносна орієнтація деталей у виробі задається розмірними зв'язками, які теж потрібно враховувати для визначення послідовності складання виробу. Поверхні СЕ можуть бути пов'язані розмірними зв'язками – лінійними, діаметральними, радіальними, кутовими.

Розміри, що входять у складальний розмірний ланцюг (СРЛ), реалізуються у тій послідовності, яка визначається послідовністю складання елементів, що входять до її складу.

Послідовність складання кількох СРЛ, що об'єднуються між собою, визначаються їх ранжуванням. В основі ранжування покладено технологічні правила врахування розмірних ланцюгів при складанні виробу [53].

1) Найбільш складний і відповідальний розмірний ланцюг має пріоритет по послідовності реалізації. Складання слід починати з тієї ланки ланцюга, що є складовою частиною інших, більш простих ланцюгів.

2) Складання починають з тих складальних одиниць і деталей, які входять до більшої кількості розмірних ланцюгів.

3) При наявності розмірних ланцюгів із спільними ланками, складання необхідно починати з елементів того розмірного ланцюга, яка максимально впливає на точність виробу.

4) Якщо ланки ланцюга рівнозначні по точності, складання починають з більш складного ланцюга.

5) У розмірних ланцюгах, в яких конструкцією машини намічено отримати необхідну точність замикаючої ланки методом регулювання, знаходять компенсуючі ланки і деталі, що виконують роль нерухомих і рухомих компенсаторів.

6) У кожному розмірному ланцюзі складання завершують реалізацією замикаючої ланки.

З огляду на правила врахування СРЛ, математична модель, що відображає їх, повинна забезпечити: визначення методу досягнення точності у даному СРЛ та виявлення замикаючих ланок у СРЛ.

Математичну модель, яка відображатиме наявність розмірних зв'язків між деталями та їх види, представимо матрицею $RZ_{[M \times M]}$, де M – кількість деталей, що входять до складу СРЛ. Значення елементів матриці:

$RZ_{I,J \text{ } I \neq J; I, J = \overline{1..M}} = 1$, якщо між I-ю і J-ю поверхнями (осями) СЕ-в існує зв'язок, що є замикаючою ланкою даного СРЛ;

$RZ_{I,J \text{ } I \neq J; I, J = \overline{1..M}} = R$, якщо між I-ю і J-ю поверхнями (осями) СЕ-в існує зв'язок, що є складеною ланкою даного СРЛ.

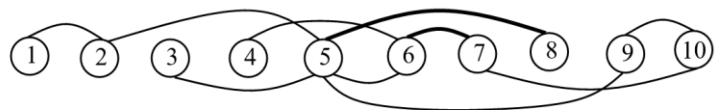
Змінна R приймає числові значення, що для замикаючої ланки розмірного ланцюга показує метод досягнення точності:

Значення змінної R	Метод, яким досягається точність
2	повної взаємозамінності
3	неповної взаємозамінності
4	групової взаємозамінності
5	пригонки
6	регулювання
7	з використанням компенсуючих матеріалів

Матрицю розмірних зв'язків $RZ_{[M \times M]}$ можна уявити графом розмірних зв'язків GR , у якому вершини – деталі, що входять до складу СРЛ, а дуги – розмірні зв'язки між деталями.

На рисунку 2.3 представлена матриця і граф, що відображають розмірні зв'язки у розмірному ланцюзі, що складається з 10-ти СЕ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
5	0	0	3	0	0	0	0	0	5	0
6	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
10	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0



I)

II)

Рисунок 2.3 – Математична модель розмірних зв'язків для виробу із десяти деталей: I) – матриця розмірних зв'язків; II) – граф розмірних зв'язків

Ті ланки СРЛ, до точності з'єднання яких пред'являються високі вимоги, повинні мати відповідну точність виготовлення. І навпаки, СЕ, що мають ланки СРЛ, до яких не пред'являються високі вимоги по забезпеченню точності їх

з'єднання, надходять на складання із розмірами більшого квалітету точності і з більшою похибкою, що впливає на величину похибки базування. В першу чергу необхідно проводити складання СЕ, розміри яких мають менші похибки. Інакше, зростає сумарна похибка при складанні більш точних деталей. Це потребує використання більш вартісних точних засобів технологічного оснащення.

Тому, розмірні ланцюги з більш високими вимогами по точності мають пріоритет у складанні.

Щоб врахувати точність деталей будується вектор, що зберігає значення точності виготовлення деталей $TD_{[K]}$. Компоненти вектору приймають значення:

$$TD_I = KV_I, (I = 1..K),$$

де KV_I – числове значення квалітету точності виготовлення I -ї деталі.

Також маса і габаритні розміри є важливим критерієм, який потрібно враховувати.

Ті деталі, що менші за розмірами та масою збираються у першу чергу, інакше це призводить до:

- порушення точності складальних операцій;
- потребує наявності складального обладнання відповідної маси і розмірів.

Для врахування маси та габаритних розмірів, будується матриця їх характеристик $MG_{[K \times 2]}$, елементи якої:

$$MG_{I,1} = M_I (I=1..K),$$

де M_I – значення маси I -го складального елемента;

$$MG_{I,2} = G_I (I=1..K),$$

де G_I – значення габаритного розміру I -го складального елемента.

Значний вплив на послідовність складання надає обмеження доступу.

Обмеження щодо доступу деталей до місця установки при складанні відображає матриця доступу.

Матрицю доступу можна побудувати двома способами:

- матрицею деталей $Dd_{[K \times K]}$, що задає порядок входження деталей у виріб;
- матрицею $Dz_{[S \times S]}$, яка задає порядок виконання з'єднань.

Елемент матриці $Dd_{[K \times K]}$ визначимо таким чином:

$$Dd_{I,J \ I \neq J; I, J = \overline{1..K}} = 1, \text{ якщо } I\text{-му елементу у складанні передують } J\text{-й елемент;}$$

$$Dd_{I,J \ I \neq J; I, J = \overline{1..K}} = 0, \text{ у протилежному випадку.}$$

Матрицю доступу $Dd_{[K \times K]}$ можна представити орієнтованим графом, у якому вершини – елементи, що підлягають складанню, ребро направлене з вершини I у вершину J , якщо I -му елементу у складанні передують J -й елемент.

Матриці базування і доступу зберігають інформацію про порядок з'єднання СЕ у виробі. Цей порядок задається відносно базових СЕ. У виріб може входити кілька СЕ, що можуть бути обрані як базові.

Елемент матриці доступу з'єднань $Dz_{[S \times S]}$, де S – кількість складальних з'єднань у виробі, має вигляд:

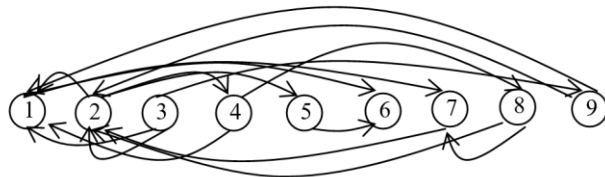
$$Dz_{I,J \ I \neq J; I, J = \overline{1..S}} = 1, \text{ якщо реалізації } I\text{-го з'єднання передують } J\text{-те з'єднання;}$$

$$Dz_{I,J \ I \neq J; I, J = \overline{1..S}} = 0, \text{ у протилежному випадку.}$$

Матрицю доступу $Dz_{[S \times S]}$ можна відобразити орієнтованим графом, у якому вершини – це з'єднання, а ребро направлене з вершини i у вершину j , якщо реалізації i -го з'єднання у складанні передують j -е.

На рисунку 2.4 представлені матриця і граф схеми доступу.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2	1	0	0	1	1	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	1	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0



I)

II)

Рисунок 2.4 – Математична модель обмежень на порядок виконання з'єднань у виробі: I) – матриця доступу; II) – граф доступу

Між графами G_{D^s} , і G_{D^d} існує зв'язок – ребро графа G_{D^d} , відповідає вершині графа G_{D^s} .

Схема доступу $Dz_{[S \times S]}$ у неявному вигляді містить інформацію про порядок виконання з'єднань у виробі і при її використанні має певні переваги над матрицею доступу $Dd_{[K \times K]}$. При використанні матриці з'єднань $Dz_{[S \times S]}$ не виникає потреби визначати базовий (ведучий) складальний елемент та відносно нього відстежувати обмеження на послідовність установки інших СЕ у виробі. Матриця $Dz_{[S \times S]}$ дає можливість врахувати:

- технологію виконання складальних операцій;
- екологічні фактори складального процесу;
- можливості наявного обладнання.

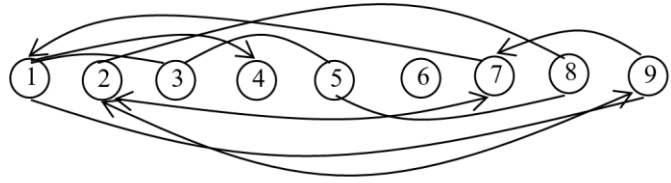
Для опису характеристик виробничої системи, що відображає зв'язок між технологічними можливостями операційних комплексів та транспортними засобами, використаємо матрицю $TR_{[P \times P]}$, де P – кількість операційних комплексів, наявних на виробничій дільниці. Елементи матриці приймають значення:

$TR_{I,J} \quad I \neq J; I, J = \overline{1..P}$	Зв'язок між I -м і J -м операційними комплексами (ОК)
0	ОК працюють незалежно
1	ОК працюють паралельно
2	ОК працюють послідовно
3	ОК можуть працювати, як послідовно так і паралельно

Матриця технологічних обмежень $TR_{[P \times P]}$ описує структуру виробничої системи, наприклад, на рисунку 2.5 такий опис (матричний і графічний) виконано для виробничої системи, що складається з дев'яти операційних комплексів. Врахування структури виробничої дільниці дозволяє підвищити якість рішення та виконувати відпрацювання на технологічність варіантів складання.

	OK ₁	OK ₂	OK ₃	OK ₄	OK ₅	OK ₆	OK ₇	OK ₈	OK ₉
OK ₁	0	0	1	2	0	0	0	0	0
OK ₂	0	0	0	0	0	0	0	1	0
OK ₃	0	0	0	0	1	0	0	0	0
OK ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OK ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OK ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OK ₇	2	3	0	0	0	0	0	0	0
OK ₈	0	0	0	0	1	0	0	0	0
OK ₉	1	3	0	0	0	0	2	0	0

I)



II)

Рисунок 2.5 – Матриця і граф зв’язків між операційними комплексами

Для встановлення зв’язку між складальними операціями та ОК-ми, що їх виконують використовуємо матрицю $ZT_{[P \times K]}$, елементи якої приймають значення:

$ZT_{I,J} \quad I \neq J; I = \overline{1..P}, J = \overline{1..K} = 1$, якщо I -й ОК-с призначений для виконання J -го з’єднання;

$ZT_{I,J} \quad I \neq J; I = \overline{1..P}, J = \overline{1..K} = 0$, якщо I -й ОК-с не призначений для виконання J -го з’єднання;

Зв’язком між номерами з’єднань і номерами СЕ, які їх утворюють, є математична модель у вигляді матриці зв’язків $SV_{[K \times K]}$. Елемент матриці:

$SV_{I,J} \quad I \neq J; I, J = \overline{1..K} = S$, якщо між I -м і J -м складальним елементом існує з’єднання (S – номер з’єднання);

$SV_{I,J} \quad I \neq J; I, J = \overline{1..K} = 0$, у протилежному випадку.

На рисунку 2.6 представлена матриця зв’язків $SV_{[K \times K]}$, виходячи з умов, що між суміжними складальними компонентами існує з’єднання.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	5	0	0	0	0	0	6	0	0
5	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2.6 – Матриця зв’язків між номерами операцій та номерами складальних елементів, що їх утворюють

Процес складання, у залежності від виду виконуваних операцій може супроводжуватися шумом, вібрацією, виділенням токсичних парів клеїв, високою температурою, підвищеною радіоактивністю і т.д. До таких операцій можна віднести зварювання, пайку, склеювання, розвальцювання, операції, що виконуються при складанні після ремонту насосів атомних електростанцій та ін. Якщо дозволяє конструкція виробу, такі операції виконують в кінці технологічного процесу виготовлення або виконуються на окремо обладнаних, бажано автоматизованих дільницях, з виконанням вимог техніки безпеки та екологічної безпеки.

Наявність екологічно шкідливих операцій опишемо матрицею екологічних обмежень $EK_{[S \times S]}$. Матриця має діагональний вид. Її елементи приймають значення:

$EK_{I,I} = 1$, якщо I -та операція є екологічно небезпечною ($I = 1, \dots, S$);

$EK_I = 0$, у протилежному випадку.

Вектор екологічних обмежень $EK_{[S]}$ можна представити орієнтованим графом GE , у якому вершини – з'єднання, а дуги утворюють петлю на I -й вершині, якщо I -е з'єднання є екологічно небезпечним і потребує реалізації на окремо обладнаних складальних дільницях (рисунок 2.7).

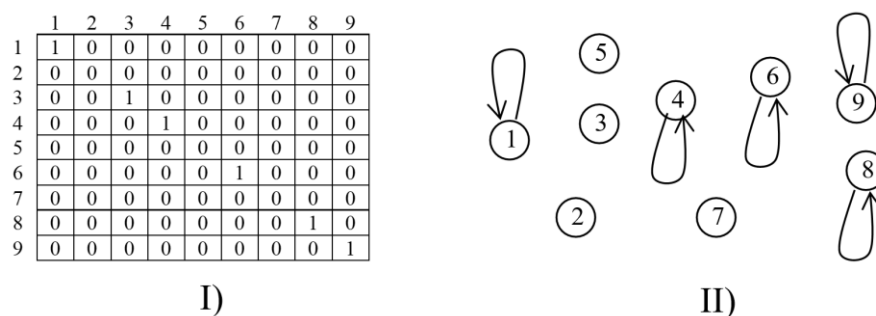


Рисунок 2.7 – Матричний та графічний опис екологічних обмежень

Представлені моделі дають можливість уточнити постановку задачі. Використовуючи, матрицю базування $BAS_{[K \times K]}$, матрицю доступу $Dz_{[S \times S]}$, матрицю розмірних зв'язків $RZ_{[N \times N]}$, матрицю $MG_{[K \times 2]}$, що зберігає значення

маси і габаритних розмірів CE , вектор $TD_{[K]}$ показників точності виготовлення деталей, матрицю $TR_{[P \times P]}$, що відображає структуру виробничої ділянки та вектор $EK_{[S]}$ екологічних обмежень, отримати раціональний варіант послідовності складання виробу з мінімальною тривалістю виробничого циклу та можливістю практичної реалізації у заданій виробничій системі.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

3.1 Формування набору складальних одиниць та їх ранжування

Технологічні правила і закономірності виконання складального процесу є основою побудови послідовності складання. Врахування даних правил здійснюється з використанням розроблених математичних моделей: схеми базування $BAS_{[K \times K]}$, схеми доступу $Dz_{[S \times S]}$, схеми розмірних зв'язків $RZ_{[N \times N]}$, таблиці характеристик СЕ-тів, вектора, що враховує точність, пропоновану до виконання з'єднань, $TD_{[K]}$, матриці технологічних обмежень, які відображають набір, технологічні можливості операційних комплексів і їх взаємозв'язок і матриці екологічних обмежень $EK_{[S]}$ і правил їх застосування. У першу чергу визначається набір базових деталей, що є основою для розташування інших СЕ-тів у структурі виробу. Від вибору базових компонентів залежить точність поверхонь, що з'єднуються, габаритні розміри, маса, послідовність складання, засоби технологічного оснащення. На початковому етапі складно прослідкувати зміну цих характеристик і раціонально обрати базові деталі, тому масив початку розрахунку (МПР) формується із набору деталей, що можуть бути базовими у конструкції виробу. Базові деталі утворюють з'єднання, яким за схемою доступу не передують інші з'єднання. Для отримання МПР, отримана група з'єднань розкодовується з використанням матриці $SV_{[K \times K]}$, з отриманої множини видаляються СЕ-ти, що мають повторення. Формалізоване рішення задачі на першому етапі має такий вигляд.

Етап 1. Формування МПР.

- з матриці доступу $Dz_{[S \times S]}$ обирають номери з'єднань, що відповідають нульовим строкам.
- виконується заміна з'єднання деталями, що його утворюють (використовується $SV_{[K \times K]}$).

- видаляються деталі, що повторюються.

На рисунку 3.1 представлена схема алгоритму формування МПР.

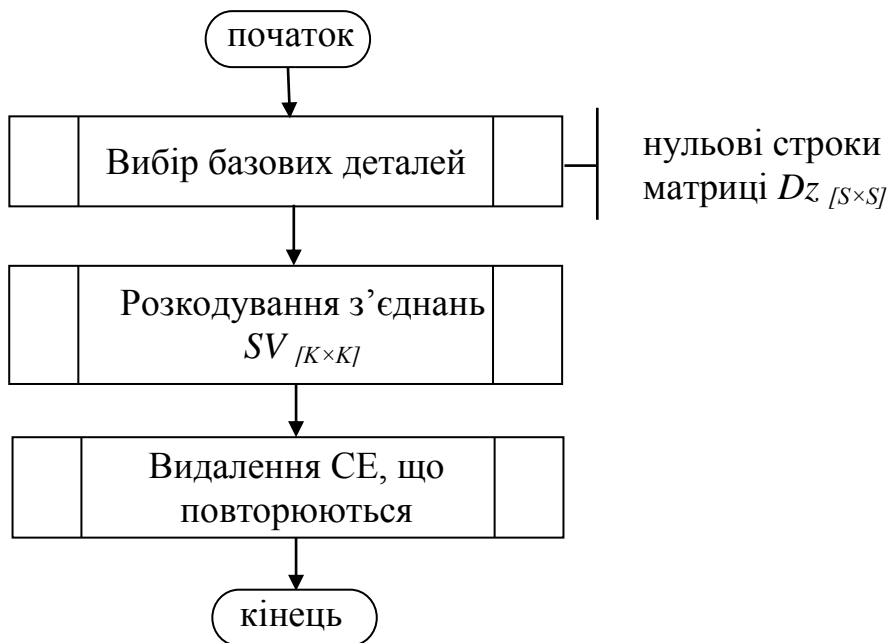


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму формування МПР

Схеми алгоритмів підпрограм приведені у додатку А.

На наступному етапі для кожної базової деталі формується набір базованих, – це СЕ-ти, поверхні яких з'єднуються з базовими у конструкції виробу. У результаті маємо набір підграфів G_{B_i} ($i = 1 \div b$), де b дорівнює кількості СЕ-тів, що увійшли до МПР (рисунок 3.2). Кожен з підграфів G_{B_i} – це окрема складальна одиниця. Підграфи визначають максимальний поділ виробу на складальні вузли.

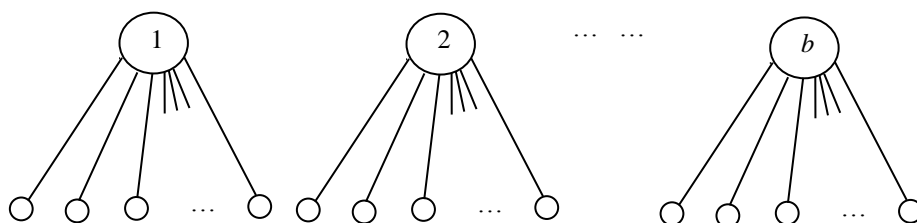


Рисунок 3.2 – Набір підграфів G_{B_i}

Серед множини підграфів G_{B_i} визначаються залежні між собою підграфи – підграфи, що мають спільні СЕ, і утворюються групи зв'язних підграфів.

Отже, початковий набір підграфів G_{B_i} ($i = 1 \div b$) поділяється на s груп зв'язних підграфів, в кожній з яких знаходиться по p_j ($j = 1 \div s$) підграфів j -ї зв'язної групи.

Оскільки в одній зв'язній групі підграфи пов'язані між собою, то, обравши у якості ведучого підграфа один із підграфів і почавши з нього складання, ми зможемо виявити зв'язки всіх інших підграфів (через наявні загальні контури). Група підграфів, що не зв'язані між собою утворюють незалежні складальні вузли, і конструкція виробу дозволяє виконувати їх складання у будь-якій послідовності. Якщо відома структура складальної виробничої системи, то необхідно розглянути можливість паралельного збирання не зв'язних між собою груп, оскільки це забезпечить скорочення тривалості виробничого циклу (Тц).

Схема алгоритму 2-го етапу показана на рисунку 3.3

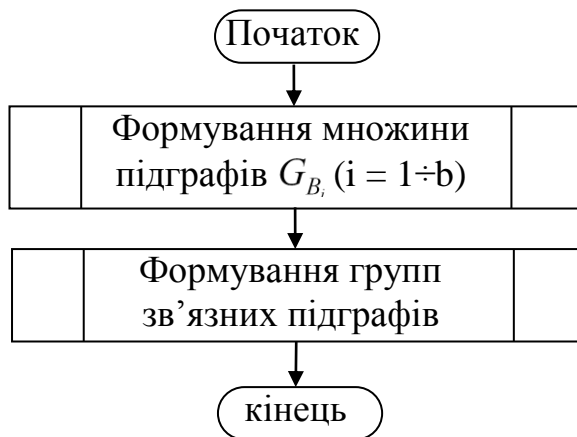


Рисунок 3.3 – Схема алгоритму поділу виробу на складальні одиниці

На наступному етапі визначається порядок зборки незалежних складальних одиниць (СО).

Для визначення послідовності реалізації підграфів у межах однієї зв'язної групи розроблено правила, що враховують конструкторські та технологічні вимоги:

- складання необхідно починати з такого підграфу, що містить найбільшу кількість СЕ-тів, спільних з іншими підграфами. Це дає можливість виконати складання вузла з мінімальною кількістю установок. Як наслідок, відбувається скорочення тривалості виробничого циклу. Дана властивість підграфу відображає ступінь зв'язності.

- якщо у зв'язній групі є кілька підграфів з однаковим ступенем зв'язності, то у якості ведучого підграфу обирається підграф, що містить більшу кількість СЕ-тів;

- якщо в наявності є кілька таких підграфів, то в якості ведучого обирається підграф, що максимально впливає на точність виробу. Це визначається за кількістю з'єднань у підграфі, до яких пред'являються більш високі вимоги по точності. Для визначення кількості таких з'єднань використовується вектор квалітетів точності $TD_{[K]}$.

- якщо кілька підграфів в однаковій мірі впливають на точність виробу, то зборку необхідно почати з підграфу, який містить більшу кількість СЕ-тів, відносно положення і повороти яких необхідно забезпечити для правильного функціонування виробу. Таким СЕ-м будуть відповідати деталі, пов'язані розмірними зв'язками у підграфі. Їх кількість у підграфі визначається з використанням матриці $RZ_{[M \times M]}$;

- якщо кілька підграфів мають однакову кількість розмірних зв'язків, то складання слід починати з підграфу, що містить вершину меншої маси;

- якщо кілька підграфів мають однакову масу базових вершин, то складання слід починати з підграфу, вершина якого має більший габаритний розмір. Маса і габаритний розмір СЕ є важливими технічними характеристиками, що впливають на точність з'єднання, вибір обладнання та ін.

Виконання третього етапу має вигляд покрокового ранжирування підграфів в кожній зв'язної групи.

Етап 3. Визначення послідовності реалізації підграфів кожної зв'язної групи.

1. Ранжування за ступенем зв'язності підграфів. Ранг підграфа зменшується зі збільшенням ступеню зв'язності підграфів.

Ступінь зв'язності підграфів визначається за формулою [53]:

$$C_{св.i} = \sum_{j=1}^{n_i} (k_j - 1),$$

де $C_{св.i}$ – ступінь зв'язності і-го підграфа;

n_i – кількість вершин у складі в і-го підграфу;

k_j - кількість підграфів, що містять j-ту вершину.

2. Ранжування за кількістю СЕ, що входять до складу підграфа. Менший ранг відповідає наявності більшої кількості СЕ-тів в будові підграфа.

3. Ранжування за кількістю розмірних зв'язків між СЕ (використовується матриця розмірних зв'язків). Менший ранг відповідає більшій кількості розмірних зв'язків у підграфі.

Якщо після 3-го кроку ранжирування залишилися підграфи однакових рангів, проводиться наступний крок ранжирування.

4. Ранжування за масою базового СЕ-та. Чим більшою є маса кореневої вершини, тим меншим є ранг підграфа (використовується $MG_{[K \times 2]}$).

Якщо після 4-го кроку ранжирування є підграфи однакових рангів, то проводиться 5-й крок ранжирування.

5. Ранжування за габаритними розмірами кореневої вершини. Більший габаритний розмір СЕ кореневої вершини відповідає меншому рангу підграфа (використовується $MG_{[K \times 2]}$).

Після проведення усіх етапів ранжирування у кожній зв'язній групі знайдеться підграф, що містить замикаючу розмірну ланку (для пошуку використовується матриця $RZ_{[M \times M]}$) і незалежно від результатів ранжирування

даному підграфу присвоюється останній ранг. У результаті реалізація замикаючої ланки у складальному розмірному ланцюзі завжди буде виконуватися в останню чергу.

Якщо після 5-го кроку ранжирування залишилися підграфи однакових рангів, то вони можуть бути реалізовані у будь-якій послідовності. З метою скорочення тривалості циклу складання необхідно розглядати можливість паралельної складання підграфів однакових рангів. Для визначення такої можливості використовується матриця технологічних обмежень, що відображає взаємозв'язок операційних комплексів.

Складання підграфів проводиться у порядку зростання рангів – від 1-го до r_j -го рангу включно (r_j – кількість рангів в j -й зв'язній групі).

В основі приведених правил ранжування закладено основні технологічні правила побудови раціональних технологічних процесів складання.

Ранжирування встановлює порядок входження складальних одиниць у виріб. На наступному етапі визначається послідовність складання компонентів, які увійшли до складу окремих СО-ць.

3.2 Визначення послідовності складання для кожної складальної одиниці

У першу чергу виявляються з'єднання, що присутні у складальній одиниці (підграфі). З урахуванням схеми доступу з'єднань ті деталі, що базуються по базовій розташовуються відносно неї за рівнями – групами по горизонталі. У результаті маємо мінімальну кількість складальних рівнів при заданій кількості деталей у підграфі (рисунок 3.4). Це досягається за рахунок визначення у конструкції СО-ці з'єднань, які можуть бути реалізовані паралельно.

Математичне формулювання 4-го етапу поставленої задачі.

Етап 4. Визначення послідовності складання в j -й зв'язній групі.

4.1. Вибирається підграф m_j -го рангу $G_B^{m_j}$ і перетворюється у підграф доступу $G_{D^s}^{m_j}$ за правилами: вершина підграфа $G_{D^s}^{m_j}$ відповідає ребру підграфа $G_B^{m_j}$, ребро підграфа $G_{D^s}^{m_j}$ відповідає ребру між відповідними вершинами графа G_{D^s} .

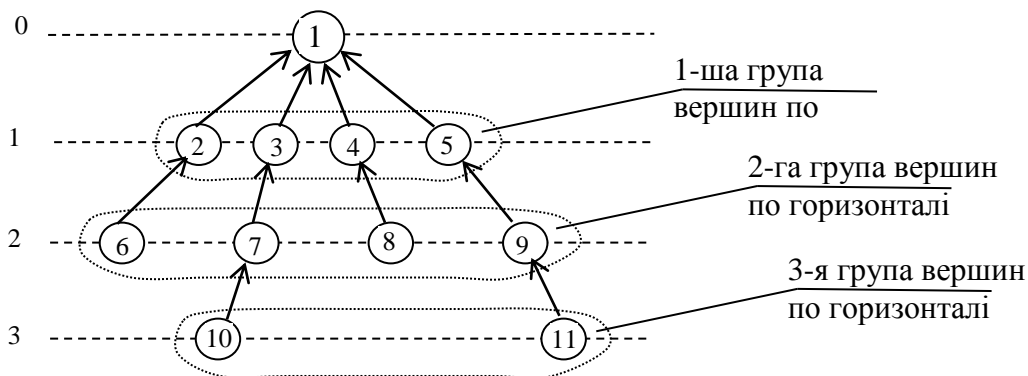


Рисунок 3.4 – Формування груп по горизонталі для підграфа у зв'язній групі

4.2. Із підграфу обираються стоки і ізольовані вершини разом із суміжними їм ребрами.

4.3. З отриманої групи вершин обираються вершини, що відповідають стокам і ізольованим вершинам графа і заносяться в g -ту групу вершин по горизонталі для поточного підграфа.

4.4. g -та група вершин по горизонталі заносяться до масиву реалізованих контурів (МРК).

4.5. Перевіряється, чи реалізовані всі контури підграфа m_j -го рангу $G_{D^s}^{m_j}$ j -ї зв'язної групи. Якщо:

- реалізовані всі контури. У цьому випадку обирається підграф $(m_j + 1)$ -го рангу j -ї зв'язної групи і рішення повторюється з п. 4.1 для наступного підграфа $G_{D^s}^{m_j+1}$;

- реалізовані не всі контури, тоді рішення повторюється з п. 4.2.

Схема алгоритму 4-го етапу рішення показана на рисунку 3.5.

Для отримання СЕ-тів, отримані групи вершин по горизонталі розкодовуються – кожній вершині ставиться у відповідність пара СЕ-тів. У кожній зв'язній групі серед отриманого набору СЕ-тів, між групами по горизонталі знаходяться СЕ-ти, що володіють як властивостями базування, так і властивостями доступу.

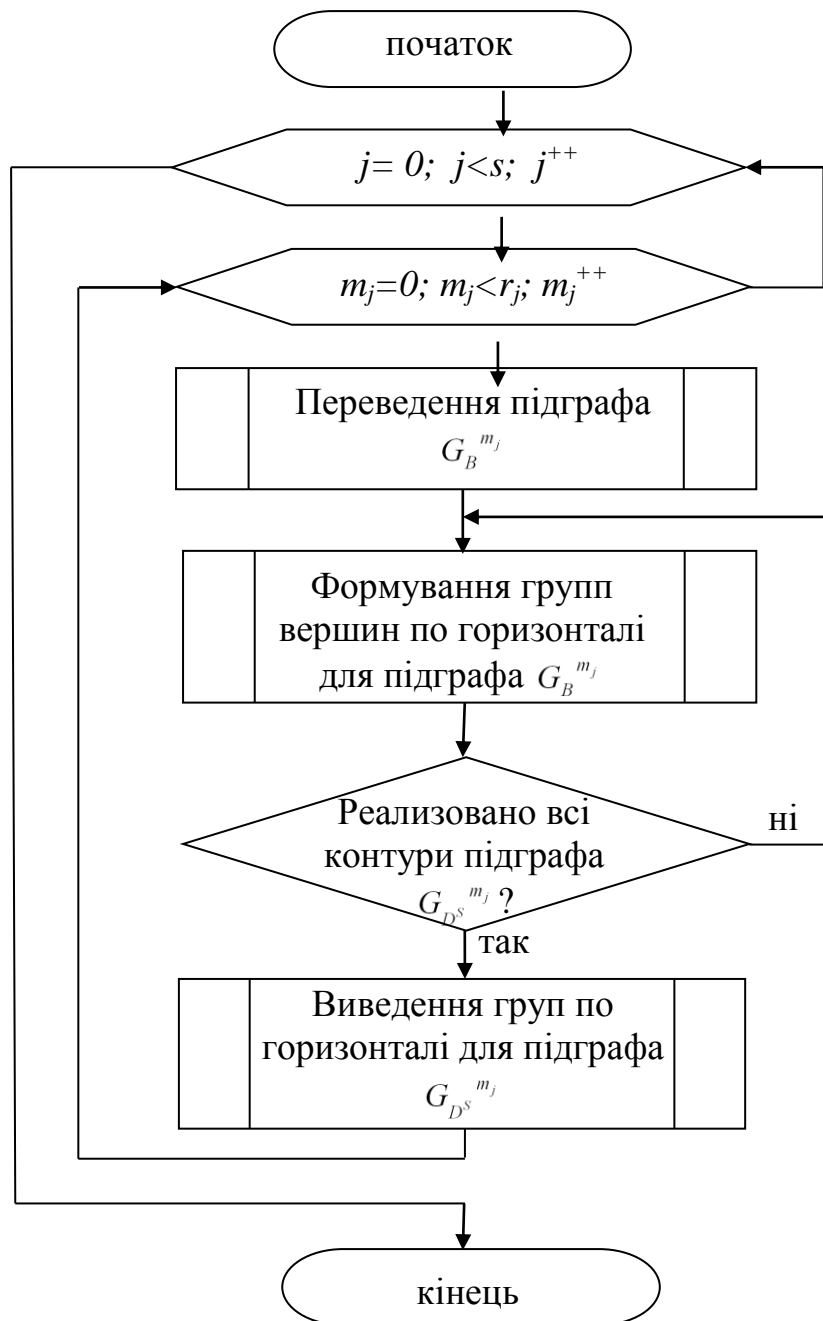


Рисунок 3.5 – Схема алгоритму формування груп по горизонталі для підграфів зв'язної групи

Таким чином із складальних компонентів, які входять до груп по горизонталі, формуються групи по вертикалі – виділяються складальні позиції. Одна група по вертикалі може бути зібрана на одній складальній позиції (рисунок 3.6).

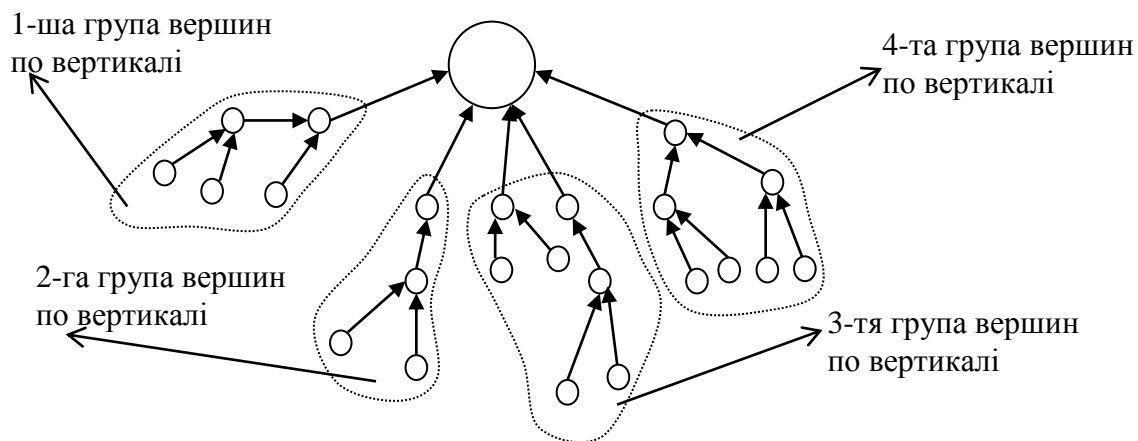


Рисунок 3.6 – Визначення груп по вертикалі в і-му підграфі

Виділення груп по вертикалі дає можливість скоротити кількість позицій при складанні, що скорочує тривалість циклу складання, сприяє підвищенню якості складального процесу, підвищенню безвідмовності та продуктивності обладнання.

Математичне формулювання 5-го етапу виконання завдання має такий вигляд.

Етап 5. Формування груп вершин по вертикалі.

5.1. Розкодування груп вершин по горизонталі.

5.2. Пошук серед груп вершин по горизонталі SE-тів, що володіють зв'язками доступу і базування.

Оскільки групи по вертикалі незалежні між собою, необхідно визначити з якої групи по вертикалі починати складання і в якій послідовності виконувати їх реалізацію, або з якої позиції розпочати складання, щоб їх кількість була мінімальною. Для цього проводиться ранжування груп по вертикалі. В основу ранжирування покладено наступний фізичний зміст:

1) З'єднання, на які накладено екологічні обмеження, необхідно виносити у кінець складального процесу і виконувати на окремих складальних ділянках. По-перше, це дозволяє не порушувати непереривність складального процесу, а по-друге, враховувати всі заходи безпеки при виконанні операцій, що мають підвищену екологічну несприятливість.

2) Групи по вертикалі необхідно реалізовувати в такій послідовності, що в першу чергу повинні бути зібрані:

- групи, що містять більшу кількість розмірних зв'язків. Врахування розмірних зв'язків дозволяє формувати задану якість виробу;
- групи, у яких необхідно забезпечити більш високу точність з'єднань.

Після ранжирування кожній з груп по вертикалі присвоюється свій ранг. Математичне формулювання покрокового ранжирування має вигляд.

Етап 6. Ранжування груп вершин по вертикалі.

Крок 1. Ранжування за наявністю у групах по вертикалі складальних операцій, на які накладено екологічні обмеження. Ці операції і групи СЕ-тів виносяться для виконання на окремих ділянках в кінець технологічного процесу.

Після 1-го кроку ранжирування виконується 2-й крок ранжирування серед решти груп по вертикалі.

Крок 2. Ранжування за кількістю розмірних зв'язків між складальними елементами. Більша кількість розмірних зв'язків у групі по вертикалі відповідає меншому її рангу.

Якщо після 2-го кроку ранжирування є групи по вертикалі однакових рангів, проводиться 3-й крок ранжирування.

Крок 3. Ранжування за змістом більшої кількості з'єднань, до виконання яких пред'являються більш високі вимоги точності. Якщо у групу по вертикалі увійшла більша кількість таких з'єднань, то цій групі присвоюється менший ранг.

Якщо після проведення 3-го кроку ранжирування залишилися групи по вертикалі однакових рангів, їх складання проводиться у будь-якій послідовності. З метою скорочення тривалості виробничого циклу, якщо дозволяє структура виробничої системи, складання таких СЕ-тів повинно виконуватись паралельно.

Якщо у даному підграфі в одній із груп по вертикалі знаходиться замикаюча ланка, то, незалежно від результатів ранжирування, цій групі по вертикалі присвоюється останній ранг, що забезпечує реалізацію замикаючої ланки в останню чергу.

Після проведеного ранжирування групи по вертикалі розподіляються по рангах:

$$G_r = G_r^{V_{m_j}} (m_j = 1 \div t_{m_j}),$$

де V_{m_j} – ранг групи по вертикалі у підграфі m_j -го рангу j -ї зв'язної групи ($V_{m_j} = 1 \div t_{m_j}$);

t_{m_j} – кількість рангів, на які розділилися групи по вертикалі у підграфі m_j -го рангу j -ї зв'язної групи.

Такі технологічні показники як кількість установок і позицій, технологічні бази, що застосовуються, точність сполучення залежать від правильного вибору базової деталі при складанні СЕ-тів. Змінюючи базові деталі, змінюється послідовність складання і зазначені показники. Це дозволяє обрати серед множини послідовностей складання більш раціональний.

Математичний опис формування множини раціональних варіантів складання виглядає таким чином.

Етап 7. Формування множини раціональних варіантів складання.

Складальна одиниця містить s груп зв'язних підграфів кожен з яких має r_j -ту кількість рангів ($j = 1 \div s$).

Перший варіант послідовності складання СО-ці формується таким чином: у кожній j -й зв'язній групі ($j = 1 \div s$) у якості ведучого підграфа обирається

підграф 1-го рангу. Після вибору ведучих підграфів відбувається складання в кожній зв'язній групі за розробленим методом. Якщо в 1-й зв'язній групі у якості ведучого підграфа обрано підграф 2-го рангу, то в інших зв'язних групах провідні підграфи залишаються 1-го рангу, то формується другий варіант послідовності складання.

Після перебору підграфів усіх рангів в якості ведучих з 1-й зв'язної групи (від 1-го до останнього), проводиться перебір підграфів 2-ї зв'язної групи (від 1-го до останнього), і т.д. ..., до s-ї зв'язної групи включно. При цьому, з кожною зміною ведучого підграфа, а отже і базової деталі, відбувається формування чергового варіанту складання виробу.

Якщо, кілька підграфів j-ї зв'язної групи мають один і той же ранг, у якості ведучих вони обираються по черзі. При цьому не виключається можливість одночасної їх реалізації.

Множину варіантів послідовностей складання виражається добутком:

$$V = \prod_{j=1}^s S b_j,$$

де s – кількість зв'язних груп;

$S b_j$ – кількість варіантів складання в j-й зв'язній групі.

Схема алгоритму побудови раціональних варіантів складання СО-ці зображена на рисунку 3.7.

Схеми алгоритмів для основних підпрограм рішення задачі приведені у додатку А.

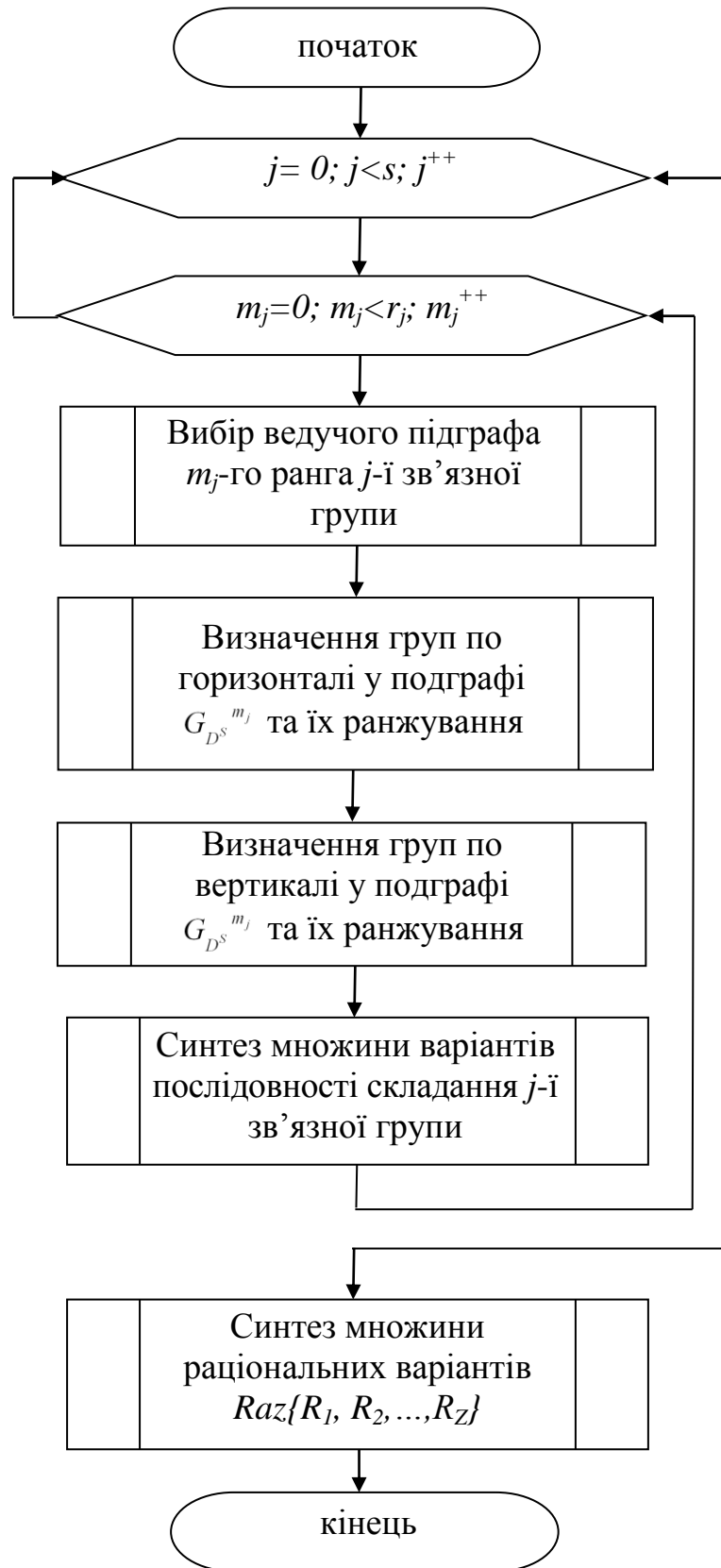


Рисунок 3.7 – Побудова множини раціональних варіантів послідовності складання

3.3 Кількісний аналіз варіантів послідовності складання виробу

Послідовність складання виробу (РЄ) представляється у вигляді технологічної схеми складання, що є основою для проектування всього технологічного процесу складання. Аналіз структурних видів технологічних схем збирання (ТСС) виробів дозволяє виділити раціональну зону технологічних схем збирання по тривалості виробничого циклу. Дана зона «зверху» обмежена ТСС мінімально-паралельного структурного виду, а «знизу» – ТСС максимально-паралельного структурного виду. Використовуючи кількісний показник оцінки структури ТСС, можна математично виразити зону раціональної по тривалості циклу ТСС.

Кількісною оцінкою структурного виду технологічних схем збирання є коефіцієнт структурного виду схеми $K_{вс}$ [53]:

$$K_{в.с.} = \frac{2(R-1)}{N}, \quad (3.1)$$

де R – кількість рівнів графа ТСС.

Відомо, що для мінімально-паралельного структурного виду [53]:

$$R = \frac{N+2}{2} \quad (3.2)$$

Для максимально-паралельного структурного виду [53]:

$$R = \log_2 N + 1 \quad (3.3)$$

Підстановкою (3.2) і (3.3) в (3.1), знаходимо межі коефіцієнта структурного виду для якого тривалості виробничого циклу буде раціональною:

$$\frac{2 \log_2 N}{N} \leq K_{в.с.} \leq 1 \quad (3.4)$$

Якщо фактичне значення, побудоване для даної послідовності складання виробу, розраховані за формулою (3.1), потрапляє в проміжок, визначений нерівністю (3.4), то розроблений варіант послідовності складання є раціональним по тривалості циклу.

Множину побудованих раціональних варіантів складання виробу необхідно розглянути на предмет практичної реалізації у заданій виробничій

системі. При цьому відбувається перевірка, чи зможуть дані операції, послідовність яких визначена у побудованих варіантах, виконуватися в заданій виробничій системі. Для перевірки використовується граф складання і граф виробничої системи у вигляді набору операційних комплексів та їх взаємозв'язку транспортними засобами.

Якщо структури співпадають, то задана послідовність операцій може бути реалізована. Якщо виникає невідповідність видаються рекомендації щодо зміни конструкції виробу або структури складальної системи. Ці рекомендації можуть бути такими:

- і-ту і j-ту деталі об'єднати в одну деталь;
- забезпечити і-й і j-й операційні комплекси транспортним засобом для передачі об'єктів при складанні;
- змінити транспортну систему;
- замінити даний операційний комплекс (ОК) на ОК з іншими технологічними можливостями для виконання кількох операцій.

Виходячи з вище сказаного, виконаємо формалізацію 8-го етапу рішення задачі.

Етап 8. Аналіз можливості практичної реалізації побудованих варіантів складання.

9.1. Використовуючи матрицю з'єднань $SV_{[K \times K]}$, визначається склад операцій обраної множини раціональних варіантів складання.

9.2. Використовуючи схему зв'язку операційних комплексів на діючому виробництві і складальних операцій $ZT_{[P \times K]}$, визначається, на яких операційних комплексах може бути реалізована отримана послідовність складання.

9.3. Використовуючи схему технологічних обмежень $TR_{[P \times P]}$, визначається, чи буде реалізована отримана послідовність складання у заданій виробничій системі. Якщо структури співпадають, то отриманий варіант може бути реалізований у даній виробничій системі.

Схема алгоритму 8-го етапу приведена на рисунку 3.8.

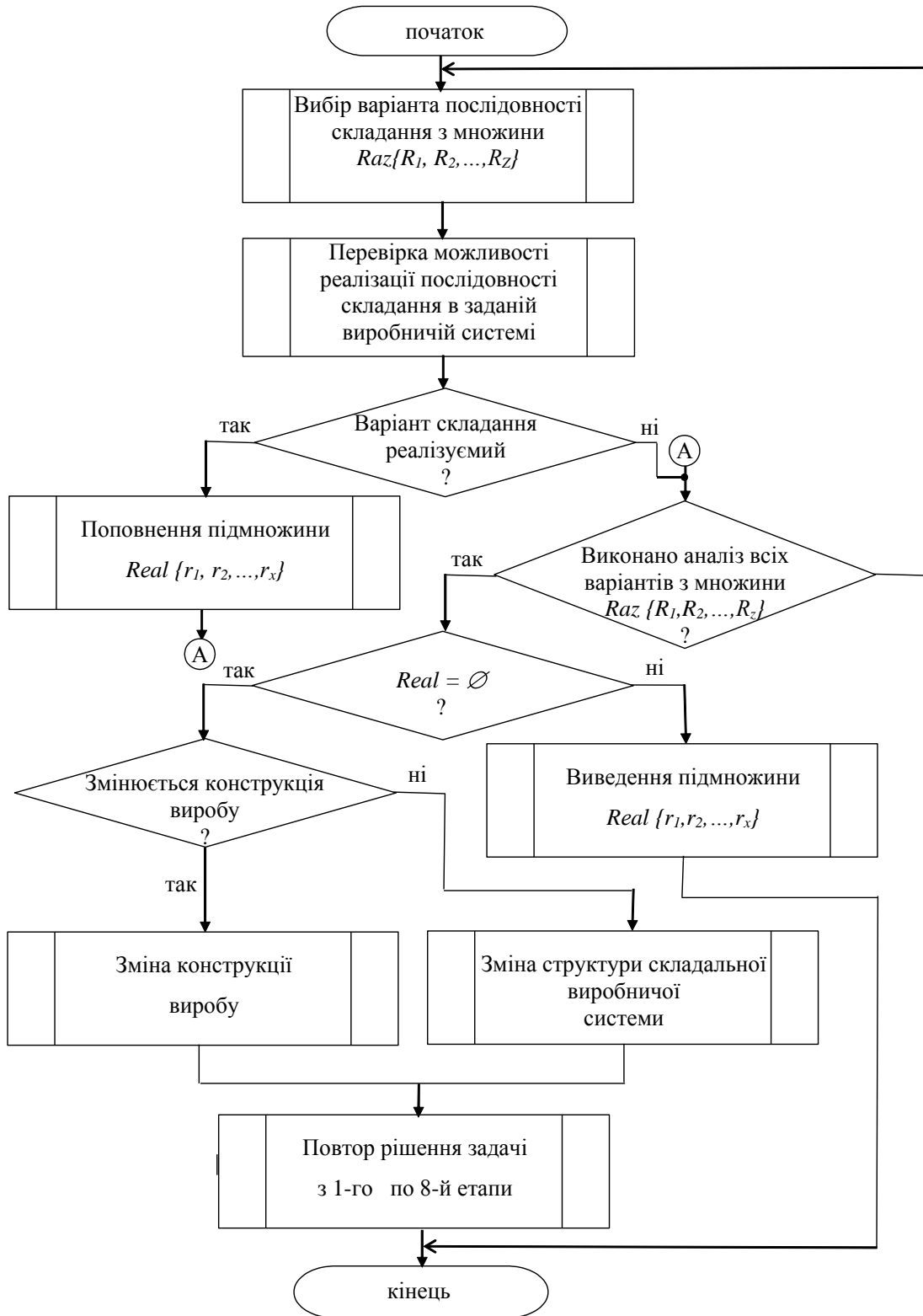


Рисунок 3.8 – Перевірка можливості практичної реалізації варіантів складання

Схеми алгоритму основних підпрограм рішення задачі приведені у додатку А.

Після проведення 8-го етапу маємо множину варіантів складання $Rl \{r1, r2, \dots, rx\}$: $Rl \subseteq Rz$, які можна реалізувати в межах наявної виробничої системи.

Далі необхідно визначити раціональність варіантів складання, що входять до множини $Rl \{r1, r2, \dots, rx\}$. Це визначає заключний 9-й етап рішення задачі. Розглянемо його математичне формулювання.

Етап 9. Формування раціональних по тривалості варіантів складання виробу $Raz_{T_u} \{z1, z2, \dots, zr\}$.

9.1 Для кожного варіанта складання із підмножини $Rl \{r1, r2, \dots, rx\}$ розраховується коефіцієнт структурного виду схеми складання $K_{в.с.}^{\phi.}$:

$$K_{в.с.}^{\phi.} = \frac{2(R-1)}{N}$$

9.2 Перевірка значення коефіцієнта:

$$\frac{2 \log_2 N}{N} \leq K_{в.с.}^{\phi.} \leq 1,$$

де N - кількість у виробі деталей.

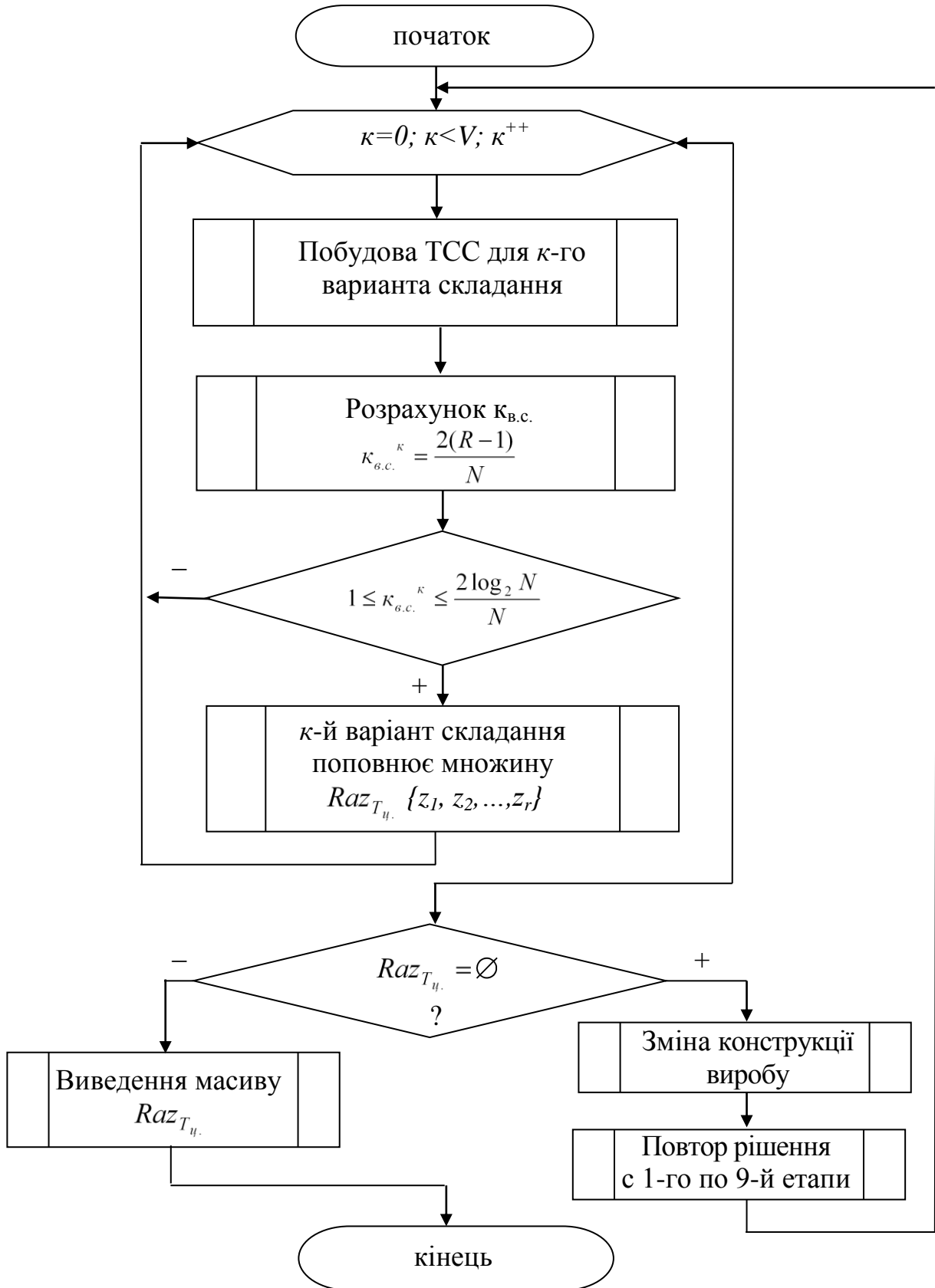
Якщо нерівність виконується, то послідовність складання, що відповідає розрахованому коефіцієнту $K_{в.с.}^{\phi.}$, поповнює підмножину раціональних варіантів:

$$Raz_{T_u} : Raz_{T_u} \subseteq Rl \subseteq Raz$$

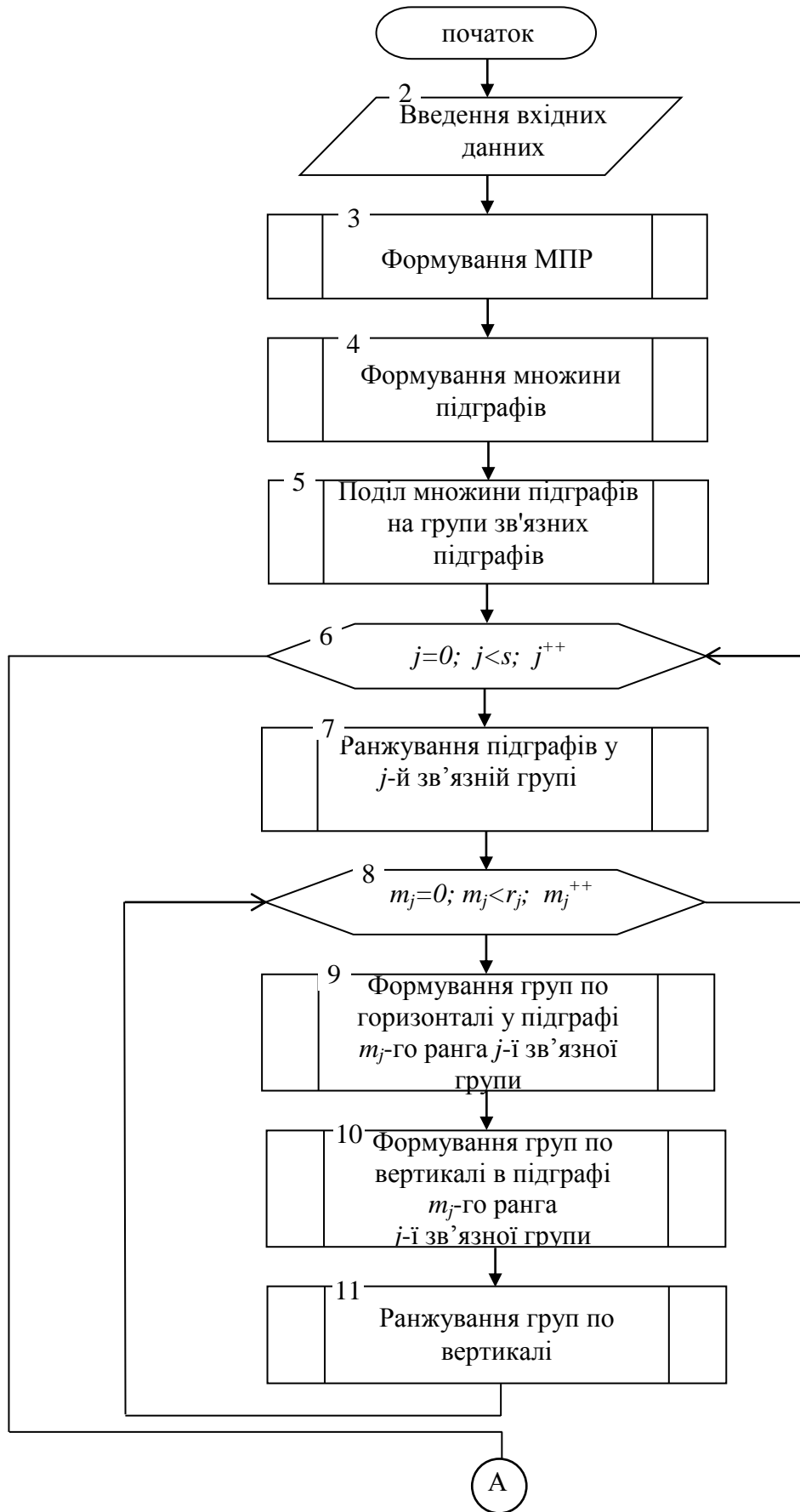
Якщо серед множини $Rl \{r1, r2, \dots, rx\}$ не знайдено раціональних варіантів, то доцільно змінити структуру конструкції виробу.

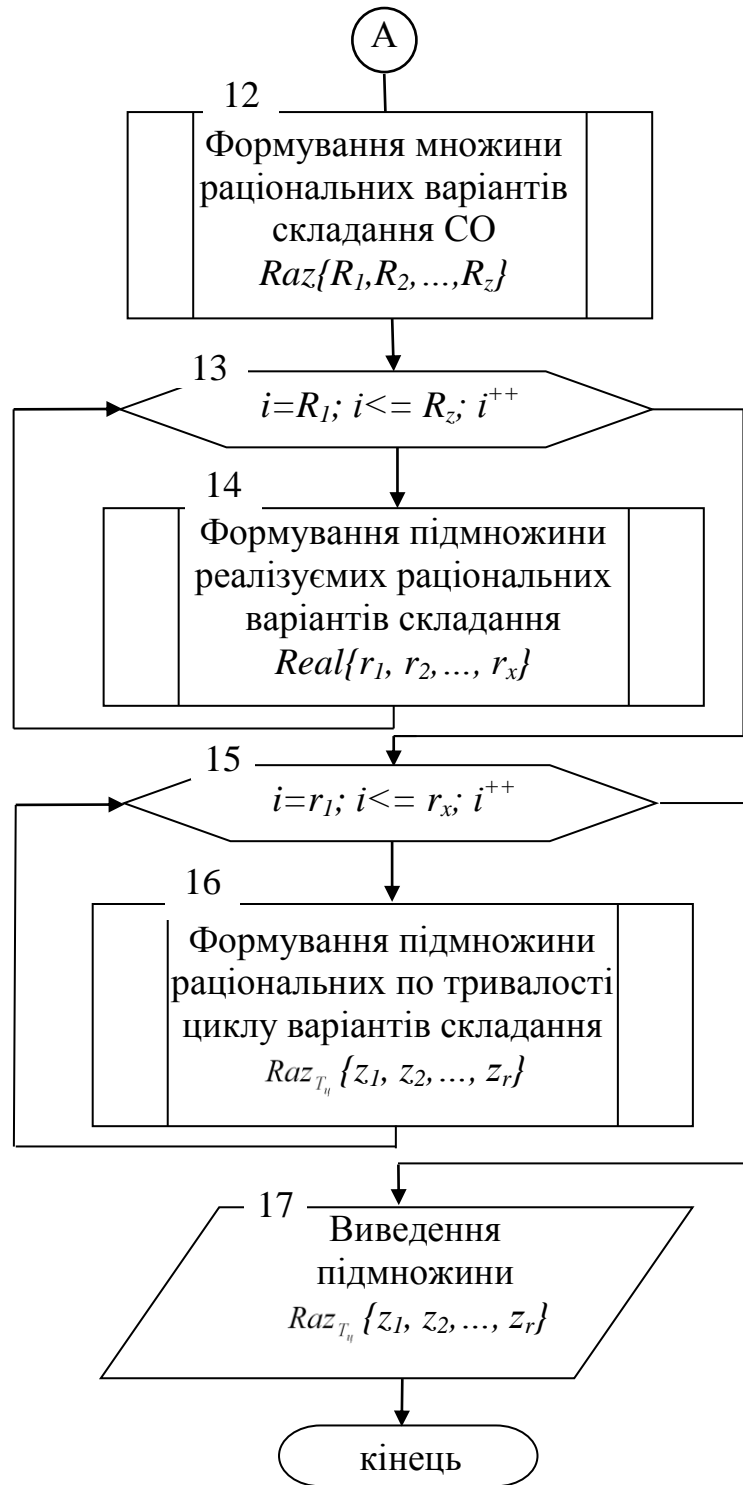
Схема алгоритму пошуку раціональних по тривалості варіантів складання представлена на рисунку 3.9.

Загальна схема алгоритму рішення задачі побудови раціональних по тривалості варіантів складання зображена на рисунку 3.10.



Рисункок 3.9 – Схема алгоритму відбору множини раціональних варіантів складання





Рисункок 3.10 – Загальна схема алгоритму синтезу множини раціональних по тривалості виробничого циклу варіантів складання виробу

В основі методу побудови раціональної послідовності складання лежать технологічні основи і закономірності виконання складального процесу. Їх врахування виконується за допомогою розроблених у розділі 2 математичних моделей: схеми базування $BAS_{[K \times K]}$, схеми доступу $Dz_{[S \times S]}$, схеми розмірних зв'язків $RZ_{[M \times M]}$, таблиці характеристик СЕ, матриці, що враховує точність, пропоновану до виконання з'єднань, $TD_{[K]}$, технологічних обмежень, матриці екологічних обмежень $EK_{[S \times S]}$ та практичних правил їх застосування.

1. Встановлено, що при синтезі послідовності складання з метою отримання оптимального варіанта необхідно враховувати технологічні можливості виробничої системи: можливість диференціації або концентрації операцій, наявність можливості одночасного приєднання кількох деталей на базову, можливість мінімізації кількості установок і позицій при складанні.

2. Розроблений метод дозволяє в автоматичному режимі обирати можливі базові деталі і формувати набір підграфів (складальних одиниць). Для визначення послідовності реалізації підграфи ранжуються: за ступенем зв'язності; за методом досягнення точності; по точності виготовлення СЕ-тів; за кількістю СЕ-тів у підграфі, за кількістю розмірних зв'язків, за масою і габаритним розмірам СЕ.

3. При визначенні послідовності складання у СО-ці здійснюється виділення груп деталей по горизонталі (за умовами доступу) і по вертикалі (за умовами зв'язків передування по складанню з урахуванням напрямків установки деталей для зменшення кількості позицій) і здійснюється моделювання можливих варіантів складання.

Для аналізу варіанту складання на раціональність по тривалості виробничого циклу доцільно використовувати наступну нерівність

$$\frac{2 \log_2 N}{N} \leq K_{в.с.} \leq 1 \text{ [36].}$$

3.4 Моделювання раціональної послідовності складання на прикладі виробу клапан

Продемонструємо роботу методу на прикладі пошуку раціонального варіанту послідовності складання для виробу клапан, конструкція якого представлена на рисунку 3.11.

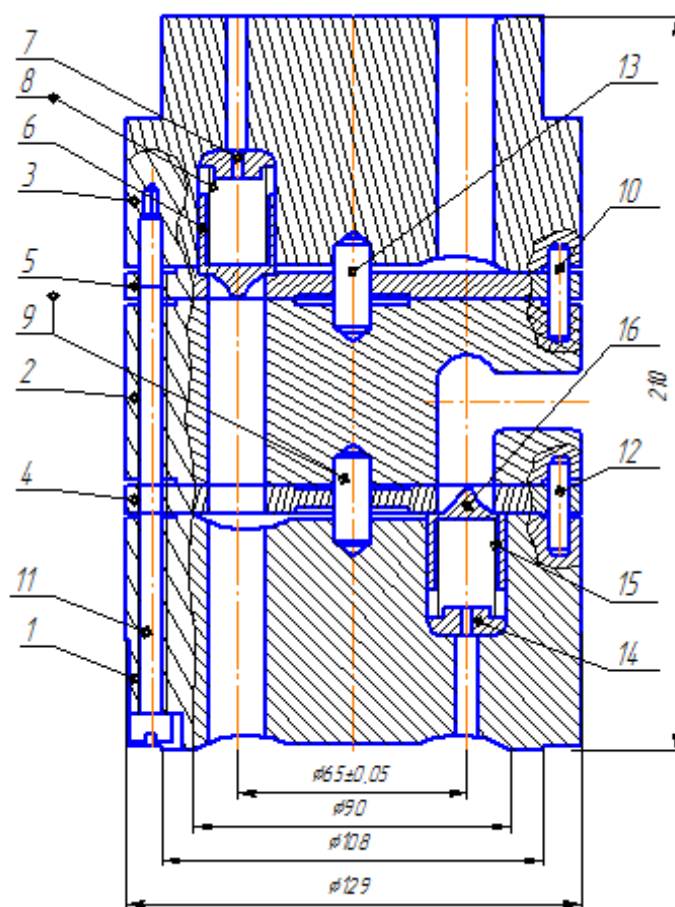


Рисунок 3.11 – Креслення клапана

Структурна схема базового варіанту складання клапана представлена на рисунку 3.12.

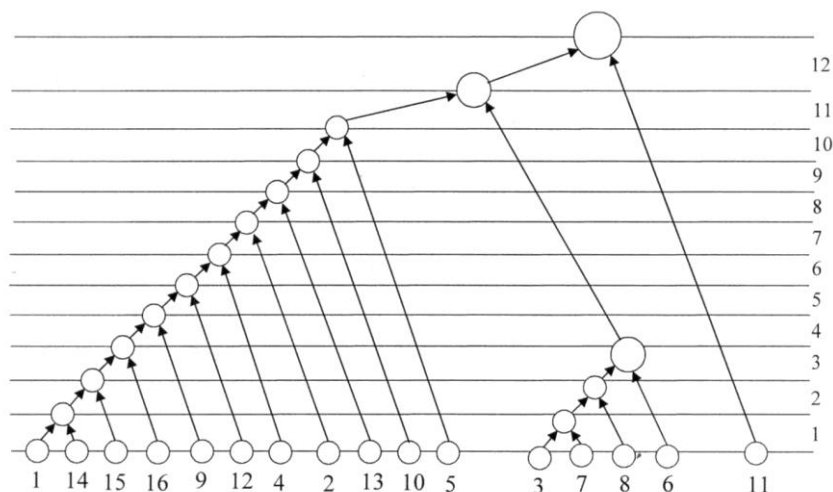


Рисунок 3.12 – Базова схема варіанту складання клапана [36]

Розрахунок коефіцієнту структурного виду дозволяє оцінити базовий варіант складання на раціональність:

$$k_{sv} = \frac{2(R-1)}{N} = \frac{2(12-1)}{16} = 1,25.$$

Значення $k_{sv} = 1,25$ не потрапляє в область $\frac{2 \log_2 N}{N} \leq k_{sv} \leq 1$, отже, послідовність складання клапана не є раціональною, тому необхідно побудувати таку послідовність складання, яка буде раціональною за тривалістю виробничого циклу.

При проектуванні раціонального варіанту складання клапана було використано такі початкові дані: матрицю базування та матрицю з'єднань (рисунок 3.13), матрицю доступу (рисунок 3.14), конструкторсько-технологічні характеристики СЕ-тів (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 Характеристики деталей клапана

№ СЕ	Маса, кг	Базовий габаритний розмір, мм	Сума балів за матрицею ознак [36]
1	2	129	9
2	3	129	9
3	2	129	9
4	1	129	7
5	1	129	7

Продовження таблиці 3.1

№ СЕ	Маса, кг	Базовий габаритний розмір, мм	Сума балів за матрицею ознак [36]
6	0,5	25	10
7	0,2	25	10
8	0,3	23	15
9	0,4	21,5	8
10	0,25	20	8
11	0,16	165	10
12	0,25	20	8
13	0,4	21,5	8
14	0,3	25	10
15	0,2	23	15
16	0,5	25	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1			1					1	1	1				1	1
2			1	1				1	1	1	1	1			
3				1	1	1			1	1		1			
4								1		1	1				
5															
6							1								
7															
8						1									
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															

а)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1			1					2		3	4		5	6	
2			7	8				9	10	11	12	13			
3				14	15	16			17	18		19			
4								20		21	22				
5									23	24	25				
6								26							
7								27							
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14														28	
15															29
16															

б)

Рисунок 3.13 – Матриці вхідних даних: а) матриця базування;

б) матриця з'єднань

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
1					1																								
2																													
3	1					1	1				1																		
4																													
5																													
6					1																						1		
7																													
8																													
9																													
10																													
11	1					1	1				1																		
12																													
13																													
14													1																
15													1														1		
16																													
17																													
18	1					1	1				1																		
19																													
20																													
21	1					1	1				1																		
22																													
23																													
24	1					1	1				1																		
25																													
26																											1		
27																											1		
28																													
29																												1	

Рисунок 3.14 – Матриця доступу з'єднань $Z_{29 \times 29}$

На складальні операції даного виробу не накладаються екологічні обмеження, тому матриця екологічних обмежень представляє собою двовимірний нульовий масив.

Вибір нульових рядків із матриці доступу з'єднань $Z_{29 \times 29}$, їх розкодування, ранжирування і видалення СЕ-тів, що повторюються, дозволив отримати масив початку розрахунків (МПР): $\text{МПР} = (3, 2, 1)$. Виходячи із складу МПР, у виробі було виділено 3 підграфи, кореневі вершини яких можуть виступати у якості базових деталей при складанні даного виробу (рисунок 3.19).

Підграфи містять спільні СЕ, тому належать до однієї зв'язної групи. Оскільки усі підграфи, базові деталі яких знаходяться в МПР, належать до однієї зв'язної групи, то, згідно з розробленим методом, можливо змоделювати три різних послідовності складання даного виробу.

Піддамо ранжируванню підграфи, що увійшли до складу зв'язної групи. Перший крок ранжирування за мірою зв'язності підграфів дозволив отримати результати, які представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 –Результати ранжирування підграфів за мірою зв'язності

Міра зв'язності	№ підграфа	Ранг
8	II	1
5	I, III	2

Наступні етапи ранжирування проводяться серед підграфів I і III, оскільки вони мають один і той же ранг: кількість елементів, що увійшли до складу підграфів I і III згідно матриці базування (рисунок 3.13) однакова, маси, габаритні розміри, сума балів за матрицею ознак для кореневих вершин досліджуваних об'єктів теж співпадають (таблиця 3.1). У зв'язку з цим, проведені етапи ранжирування не дозволили розділити підграфи I і III на окремі ранги.

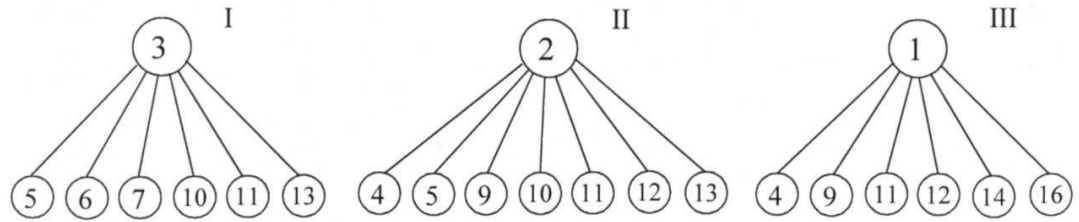


Рисунок 3.19 – Можливі варіанти вузлового складання клапана

Отже, їх складання (підграфів I та III) може здійснюватися у будь-якій послідовності, зокрема паралельно.

Визначимо перший варіант послідовності складання клапана. У якості ведучої базової деталі при складанні клапана виберемо базову деталь підграфа 1-го рангу – деталь №2 (таблиця 3.2).

В ході вирішення задачі визначення послідовності складання клапана згідно розробленого методу, були виявлені з'єднання 14 і 1, які не можуть бути реалізовані в першу чергу, оскільки їм передують ще нереалізовані з'єднання (згідно матриці доступу (рисунок 3.13)). Це дало можливість виділити окремі СО з базовими деталями 1 і 3, збірку яких можна виконувати паралельно (рисунок 3.20).

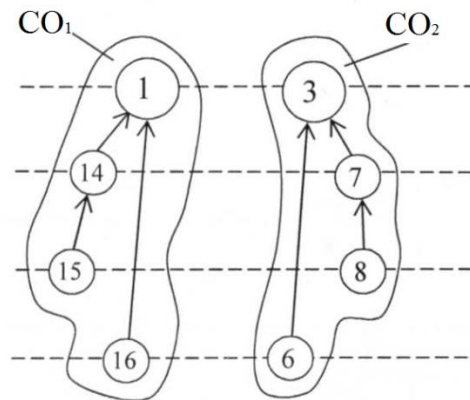


Рисунок 3.20 – СО з базовими деталями 1 та 3

Подальше визначення послідовності входження деталей і СО в даний виріб, дозволило отримати його структуру, яка складається з трьох СО. Схему послідовності складання виробу зображено на рисунку 3.21.

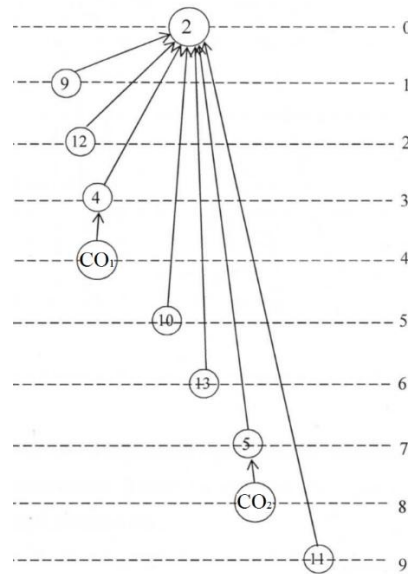


Рисунок 3.21 – Послідовність загальної зборки клапана
(ведуча базова деталь №2):

Загальна зборка клапана здійснюється, коли CO_1 і CO_2 (рисунок 3.20) зібрані і у якості базової приймається деталь №2, що також увійшла до МПР і була обрана у якості ведучої при ранжируванні підграфів.

Граф першого варіанту ТСС клапана II ступеня зображений на рисунку 3.22.

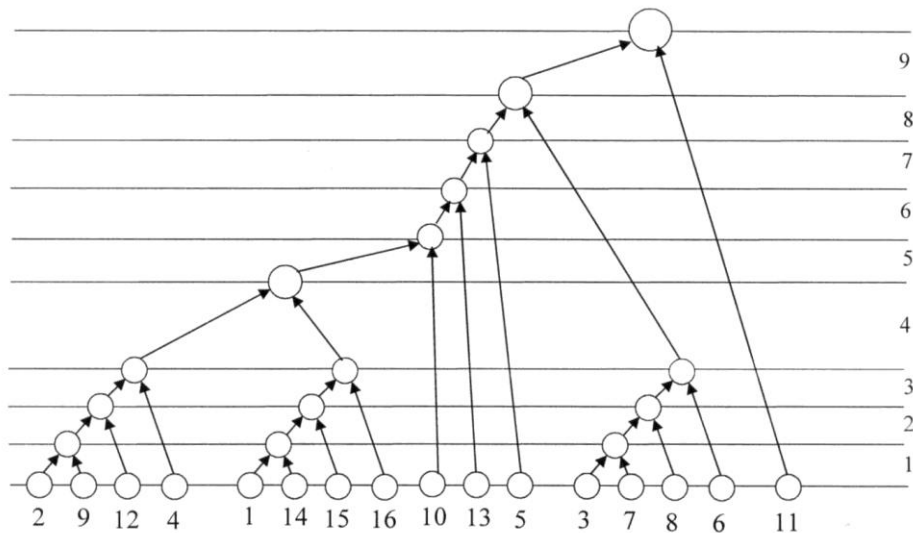


Рисунок 3.22 – Граф послідовності складання клапана
(ведуча базова деталь №2)

Перший варіант складання клапана був побудований при реалізації підграфів відповідно до результатів ранжування. У якості ведучого підграфу було вибрано підграф 1-го рангу з ведучою базовою деталлю №2.

Другий варіант ТСС (рисунок 3.23) отриманий, коли у якості ведучого підграфу було обрано підграф 2-го рангу з кореневою вершиною №3.

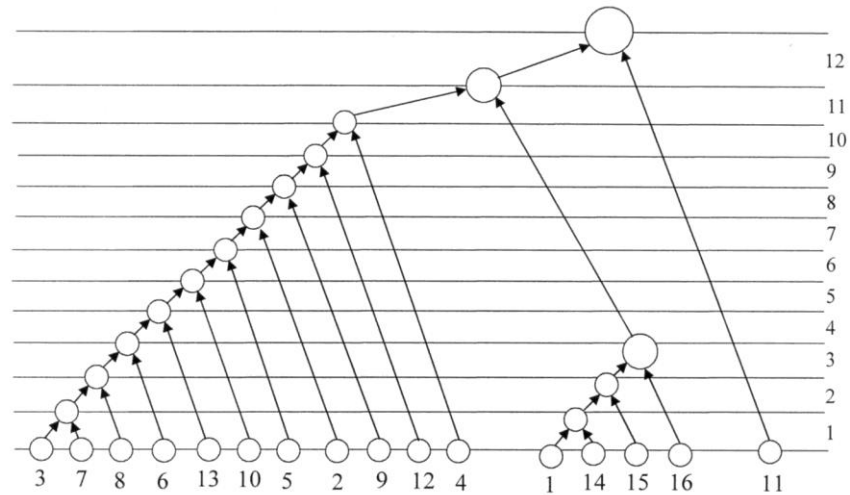


Рисунок 3.23 – Граф ТСС клапана II ступеня (ведуча базова деталь №3).

Якщо у якості ведучої базової деталі вибрати деталь №1, то отримаємо третій варіант послідовності складання, граф ТСС якого зображений на рисунку 3.24.

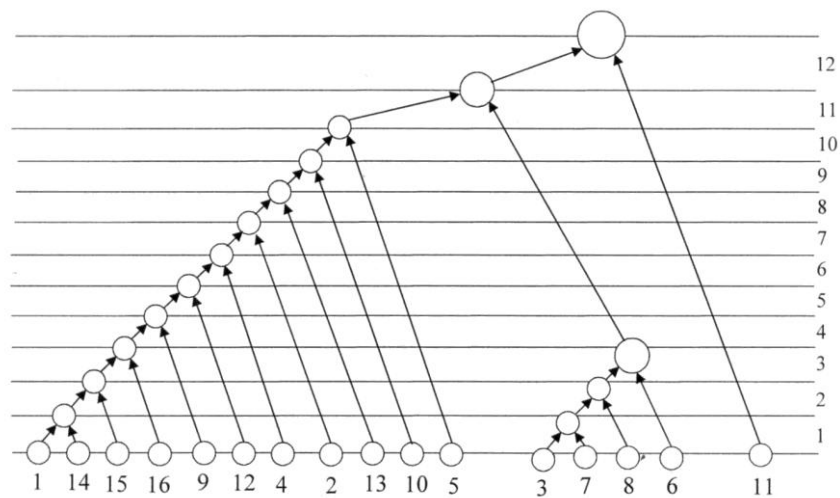


Рисунок 3.24 – Граф послідовності складання клапана
(ведуча базова деталь №1)

Таким чином, змінюючи базову деталь, було отримано три різні варіанти послідовності складання клапана.

Отримані варіанти раціональної складальної схеми клапана необхідно оцінити на раціональність за тривалістю виробничого циклу:

1) оцінка 1-го варіанту, граф ТСС якого зображений на рисунку 3.22. Розрахуємо коефіцієнт структурного виду за (1) та здійснимо його оцінку за (2):

$$k_{sv} = \frac{2(R-1)}{N} = \frac{2(9-1)}{16} = 1.$$

Оскільки значення $k_{sv} = 1$ потрапляє в раціональну область $\frac{2 \log_2 N}{N} \leq k_{sv} \leq 1$, отже перший варіант є раціональним за тривалістю виробничого циклу.

2) оцінка 2-го і 3-го варіанту (рисунок 3.23, рисунок 3.24):

$$k_{sv} = \frac{2(R-1)}{N} = \frac{2(12-1)}{16} = 1,25.$$

Значення $k_{sv} = 1,25$ не потрапляє в область $\frac{2 \log_2 N}{N} \leq k_{sv} \leq 1$, тоді другий і третій варіанти отриманих послідовностей складання не є раціональними за тривалістю виробничого циклу.

Таким чином, застосовуючи розроблений метод синтезу раціональної послідовності складання виробів було отримано три різні варіанти послідовності складання клапана.

Оцінка варіантів послідовностей складання за коефіцієнтом структурного виду k_{sv} дозволила виділити один варіант складання клапана, що є раціональним за тривалістю виробничого циклу. Граф складальної схеми раціональної по тривалості виробничого циклу варіанту складання представлений на рисунку 3.22.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПО ТРИВАЛОСТІ ВАРІАНТІВ СКЛАДАННЯ

4.1 Моделювання роботи програмного забезпечення

На етапі функціонального моделювання та опису процесів було обрано методологію на основі нотації IDEF0. Основними особливостями використаної методології є акцент на ієрархічне представлення об'єктів, що спрощує розуміння предметної області та логічних зв'язків між процесами.

В основі методології IDEF0 лежить поняття блоку – головної функції. Блок головної функції має три входи: вхідні дані (лівий вхід), механізм виконання (нижня стрілка), механізм керування (верхній вхід).

На рисунку 4.1 представлено загальну функцію розроблюваного програмного продукту. Моделювання виконувалося у середовищі програми AllFusionModeller erwin.

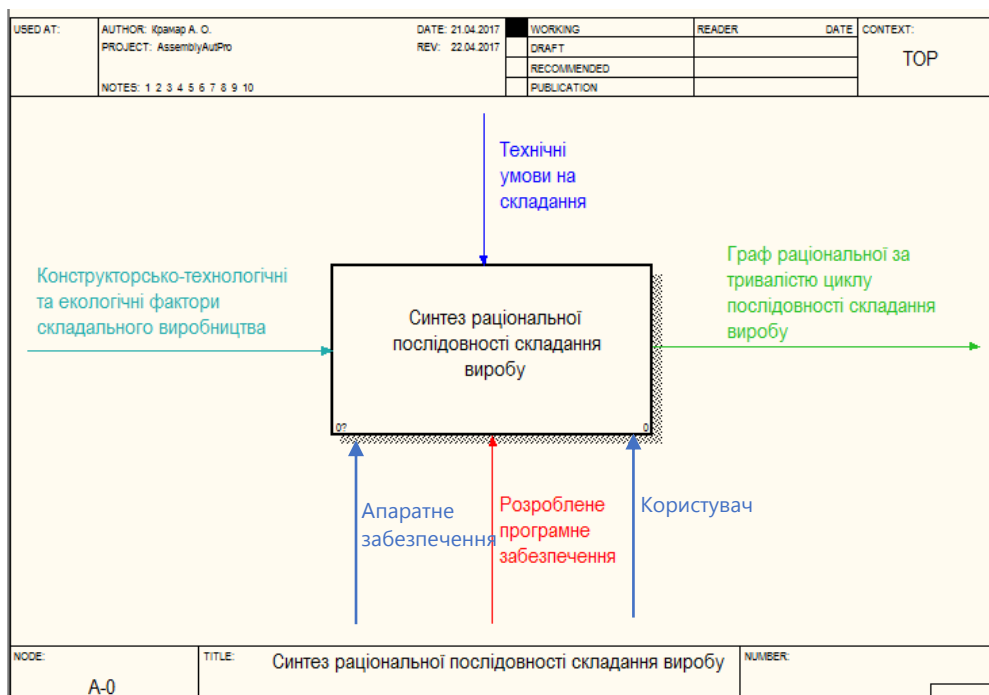


Рисунок 4.1 – Контекстна діаграма основної функції ПЗ

Для поетапного представлення основних функціональних вимог до створюваного програмного продукту загальну функцію програми було деталізовано. Результатом декомпозиції головної функції є взаємопов'язані блоки з деталізацією процесів. На рисунку 4.2 представлено схему декомпозиції.

Під час проектування функціонального моделювання було використано програмне забезпечення AllFusion Process Modeler bpwin.

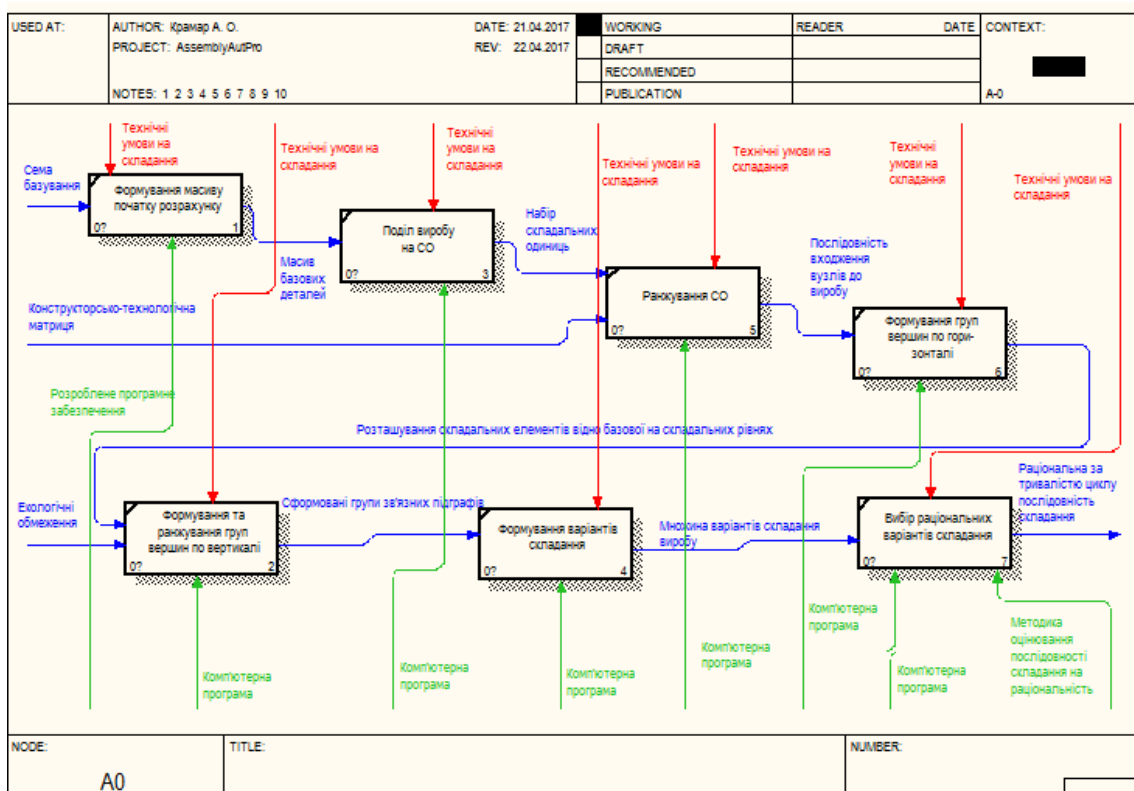


Рисунок 4.2 – Деталізоване представлення функціоналу ПЗ

Для зручності роботи програми вся інформація про конструкторсько-технологічні особливості виробу (наявність з'єднання, зв'язку базування, обмеження доступу одних деталей до інших), екологічні обмеження зберігається у текстових файлах у матричному форматі. Таке представлення даних є зручним для зберігання та опрацювання у пам'яті комп'ютера.

4.2 Архітектура програмного забезпечення

У якості початкових даних програма використовує розроблені у розділі 2 математичні моделі, що описують структуру та технологічні характеристики виробу: матрицю базування $BAS_{[K \times K]}$, матрицю доступу $Dz_{[S \times S]}$, матрицю розмірних зв'язків $RZ_{[N \times N]}$, матрицю $MG_{[K \times 2]}$, що зберігає значення маси і габаритних розмірів CE , вектор $TD_{[K]}$ показників точності виготовлення деталей, матрицю $TR_{[P \times P]}$, що відображає структуру виробничої дільниці та вектор $EK_{[S]}$ екологічних обмежень.

Побудова вихідної інформації здійснюється фахівцями предметної сфери – технологами-складальниками на основі власного досвіду та з використанням технічних креслень виробу. Вхідна інформація зберігається у вигляді файлів на диску.

На рисунку 4.3 представлено архітектуру програмного продукту синтезу раціональних по тривалості варіантів складання виробу.

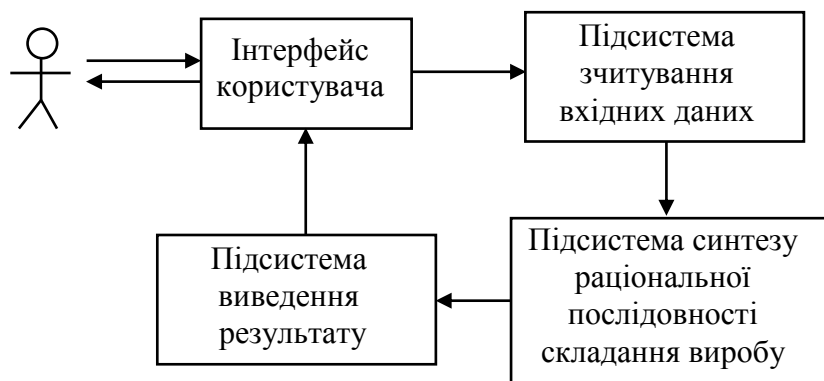


Рисунок 4.3 – Архітектура програмного забезпечення синтезу раціональних варіантів складання

Розроблений програмний продукт виконує зчитування початкових даних, та їх опрацювання в межах наявних підпрограм. Результатом роботи є

раціональна за тривалості виробничого циклу послідовність складання виробу.

Програмний продукт реалізовано в інтегрованому програмному середовищі MS Visual Studio 2010 мовою програмування C#.

Програмний код побудови раціональної послідовності складання виробу наведено у додатку Б.

4.3 Приклад роботи програмного забезпечення

Перед роботою з програмою необхідно скопіювати до будь-якої папки виконавчий файл додатку «AssemblyAutPro.exe» та файл довідки «Help.pdf» до кореневої папки на диск С.

Запуск файлу «AssemblyAutPro.exe» відкриває діалогове вікно програмного продукту «AssemblyAutPro» (рисунок 4.5).

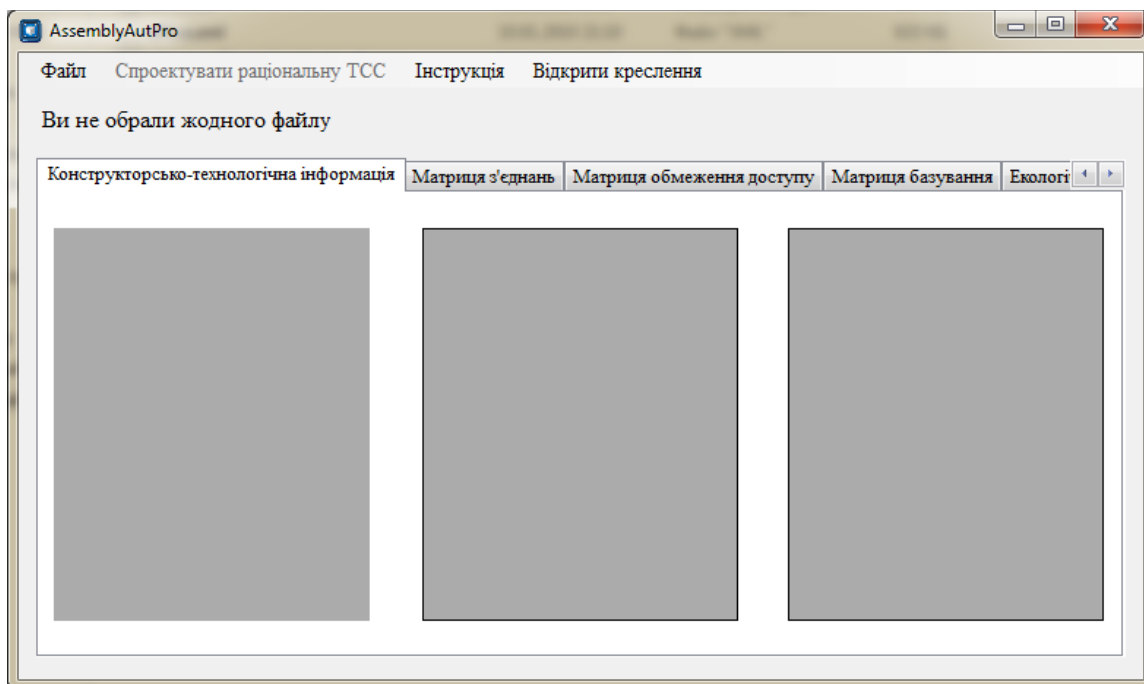


Рисунок 4.5 – Інтерфейс програмного продукту «AssemblyAutPro»

Програма надає можливість перегляду файла інструкції у форматі pdf. Інструкція містить вказівки щодо роботи з ПЗ та опис результатів роботи програми. Для відкриття інструкції необхідно обрати пункт меню «Інструкція»

або натиснути комбінацію клавіш Alt+I.

Для зручності вибору одного із пунктів меню користувач може натиснути комбінацію клавіши Alt та букви, що підкреслена у пункті меню (рисунок 4.6). Наприклад, для відкриття креслення необхідно натиснути Alt+K.

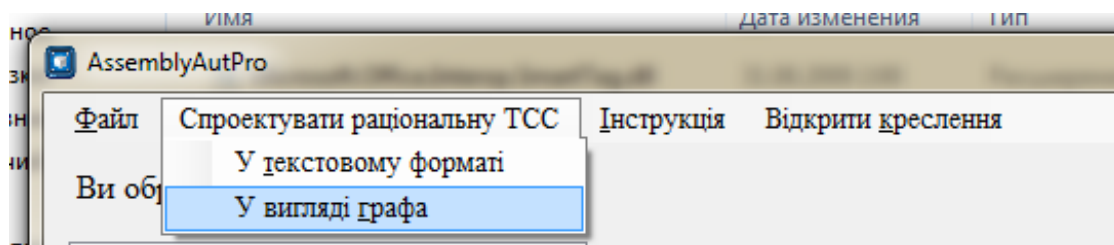


Рисунок 4.6 – Інформація для швидкого доступу

Користувач повинен виконати команду для вибору файлів із вхідними даними (Файл-Вказати папку з вхідними даними). У діалоговому вікні обирається папка з даними (рисунок 4.7), у якій зберігаються початкові дані про виріб: матриця доступу, базування, з'єднання, екологічних обмежень, характеристики деталей: маса, габаритний розмір.

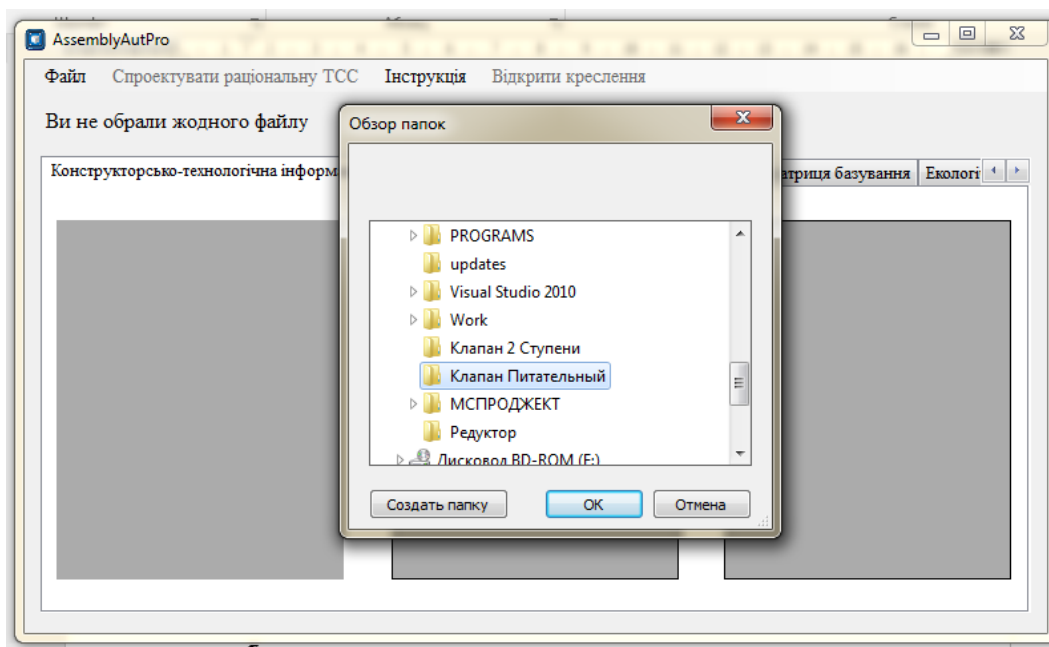
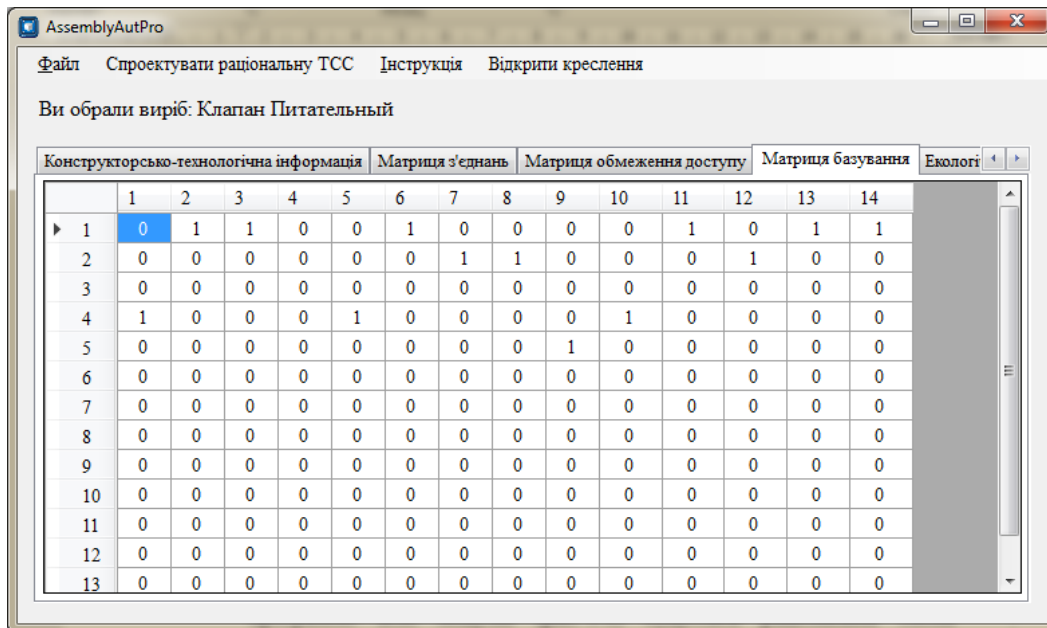


Рисунок 4.7 – Вибір папки з початковими даними

Програма надає можливість перегляду початкових даних у вигляді

таблиць на формі (рисунок 4.8, рисунок 4.9).

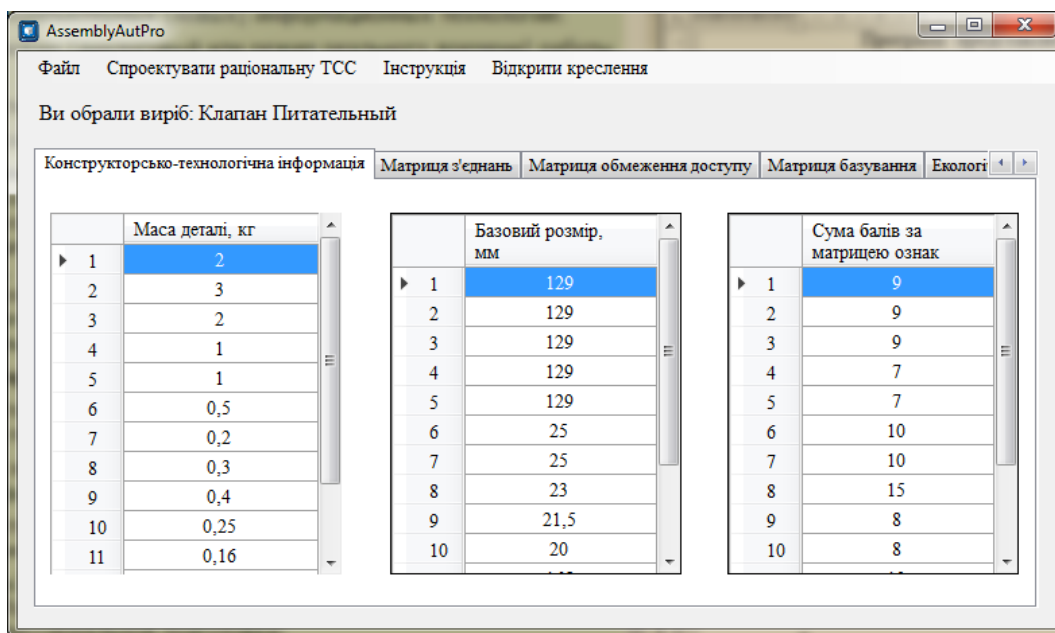


AssemblyAutPro
Файл Спроекувати раціональну ТСС Інструкція Відкрити креслення
Ви обрали виріб: Клапан Питательный

Конструкторсько-технологічна інформація Матриця з'єднань Матриця обмеження доступу Матриця базування Екологі

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 4.8 – Перегляд початкових даних



AssemblyAutPro
Файл Спроекувати раціональну ТСС Інструкція Відкрити креслення
Ви обрали виріб: Клапан Питательный

Конструкторсько-технологічна інформація Матриця з'єднань Матриця обмеження доступу Матриця базування Екологі

	Маса деталі, кг
1	2
2	3
3	2
4	1
5	1
6	0,5
7	0,2
8	0,3
9	0,4
10	0,25
11	0,16

	Базовий розмір, мм
1	129
2	129
3	129
4	129
5	129
6	25
7	25
8	23
9	21,5
10	20

	Сума балів за матрицею ознак
1	9
2	9
3	9
4	7
5	7
6	10
7	10
8	15
9	8
10	8

Рисунок 4.9 – Перегляд початкових даних про виріб

Для зручності роботи, користувач може переглянути креслення виробу. Для цього необхідно обрати пункт головного меню «Відкрити креслення» та обирати файл креслення виробу з розширенням `cdw` для перегляду (рисунок 4.10).

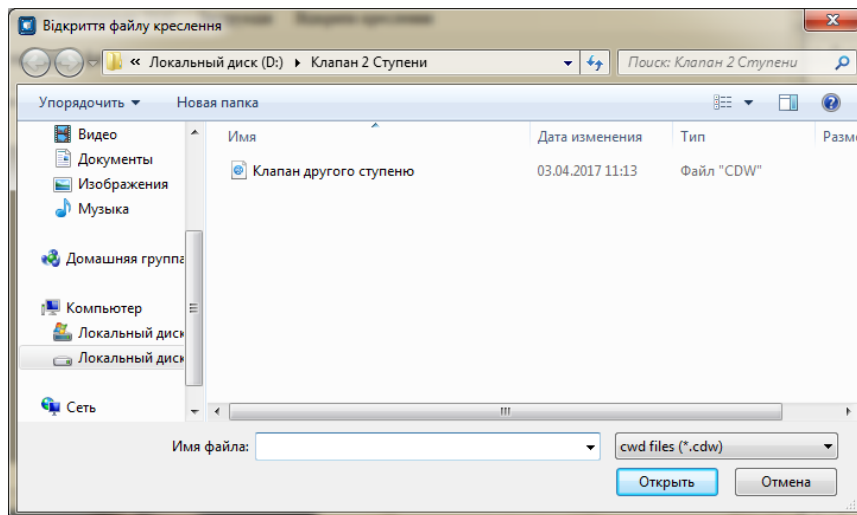


Рисунок 4.10 – Вибір файлу креслення

Перегляд креслення креслення обраного виробу здійснюється у середовищі програми КОМПАС Portable V12 (рисунок 4.11). Версія ПЗ Portable не потребує інсталяції та може бути запущена на виконання із зовнішніх носіїв інформації.

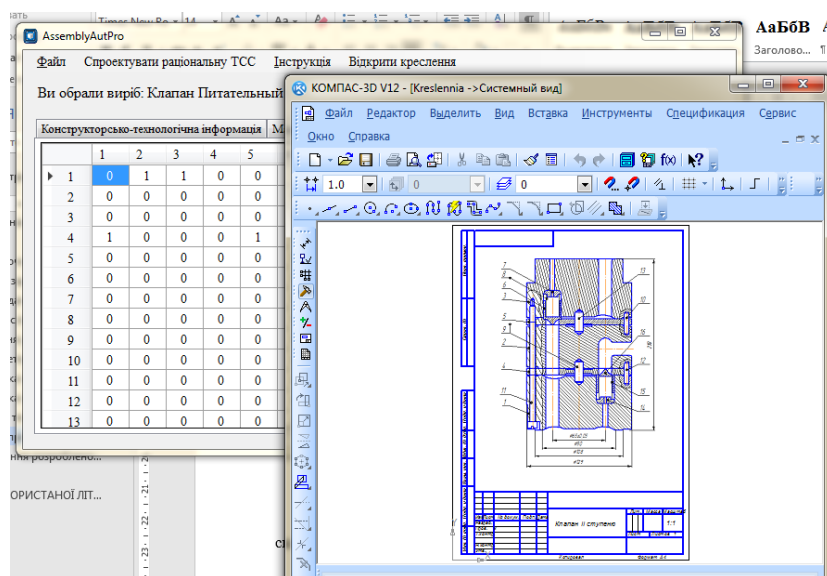


Рисунок 4.11 – Перегляд креслення виробу

Для побудови і виведення раціональної послідовності складання виробу необхідно обрати пункт меню «Спроектиувати раціональну ТСС» та вказати вигляд представлення результату послідовності складання виробу: текстовий або графічний.

Якщо за наявними початковими даними неможливо виконати проектування раціональної послідовності складання, програма виводить користувачеві попередження (рисунок 4.12).

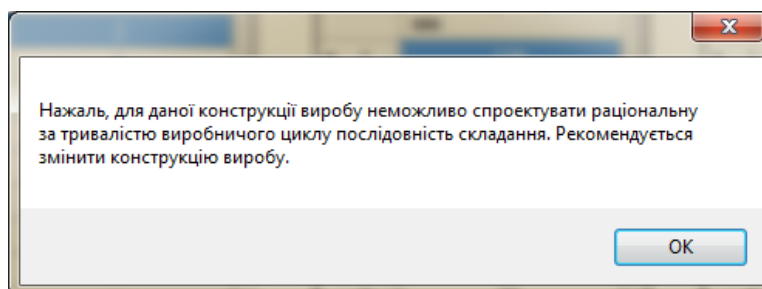


Рисунок 4.12 – Повідомлення користувачеві

Результати роботи програми можна переглянути у графічному вигляді (за отриманими результатами програма будує граф) або зберегти у форматі текстового файлу. На рисунку 4.13 представлено приклад побудови програмою графа раціональної послідовності складання клапана. Вершини графа представляють деталі, ребра – складальні операції. Зеленим кольором на графі відображаються горизонтальні лінії – це складальні рівні.

Червоним кольором позначається готовий виріб.

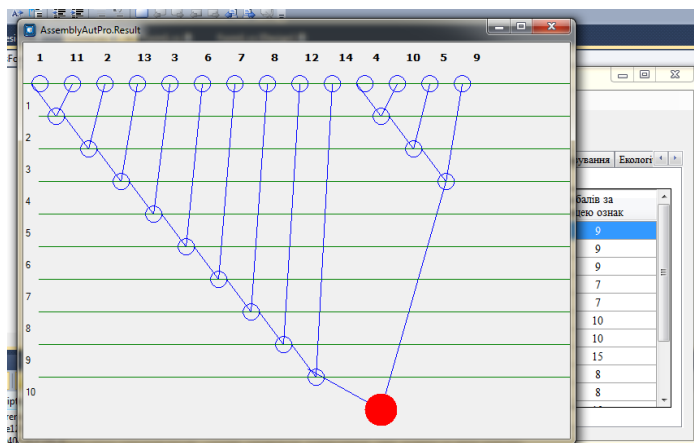


Рисунок 4.13 – Приклад графа раціональної ТСС виробу

При збереженні згенерованої програмою послідовності складання у вигляді текстового файлу, результати зберігаються до файлу з назвою «RacTSS.txt», що знаходиться у папці, яка містить вхідні початкові дані. ПЗ виводить повідомлення про шлях збереження файлу з результатом (рисунок 4.14).

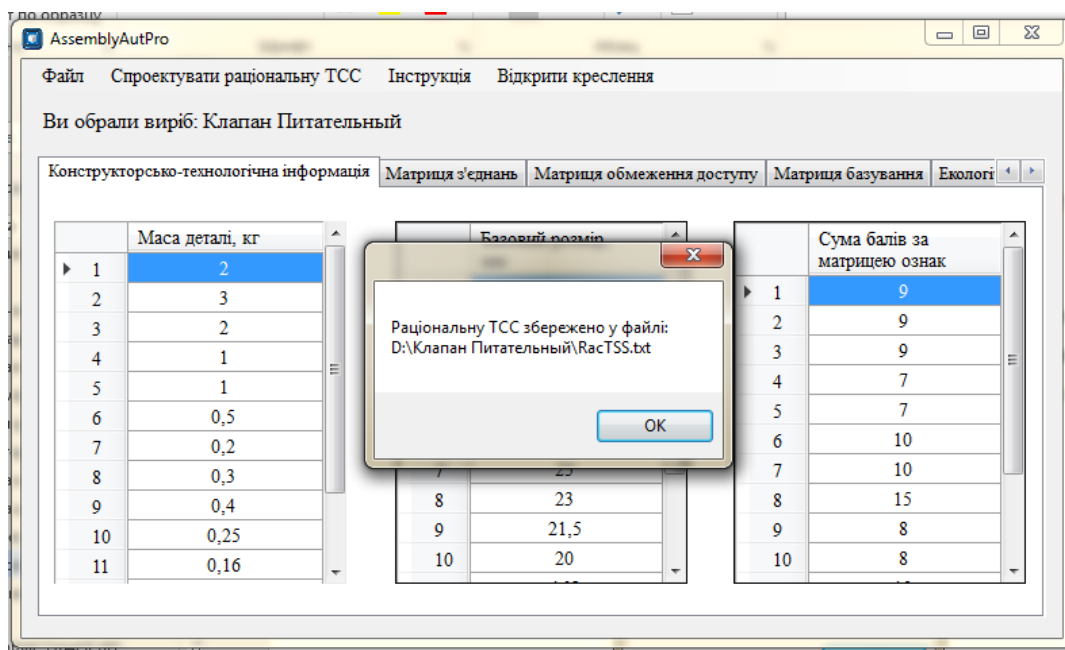


Рисунок 4.14 – Відображення інформації по зберіганню результату

ВИСНОВКИ

У результаті досліджень, виконаних в даній роботі, виявлені закономірності, які використовуються при визначенні послідовності складання виробів. Аналіз впливу структури виробу на тривалість виробничого циклу дозволив встановити, що при синтезі раціональної послідовності складання значний вплив на тривалість складального процесу чинять наступні фактори: поділ виробу на складальні одиниці, можливість одночасної установки декількох деталей на базову.

Виявлено, що при визначенні послідовності складання необхідно враховувати: масу і габаритні розміри деталей, ієрархічність будови виробів; точність виготовлення окремих деталей і складальних одиниць; обмеження доступу на переміщення одних деталей іншими до місця установки; наявність базування між деталями; види складальних з'єднань; вплив складального процесу на стан навколишнього середовища і людей, які працюють.

Дослідження з використанням елементів комбінаторики, дозволили встановити аналітичні залежності між кількістю можливих варіантів складання та різними структурними видами схем складання, – послідовним, мінімально-паралельним та максимально-паралельним структурними видами.

Аналіз отриманих співвідношень показує, що при збільшенні кількості складальних елементів зростає кількість можливих варіантів складання виробу. Тому необхідно використовувати ряд обмежень для формування множини доцільних на практиці варіантів складання [43–45]. У якості таких обмежень розроблено математичні моделі, які описують необхідні критерії у формі, зручній для вирішення поставленої задачі програмними засобами. Розроблено алгоритмічне забезпечення для синтезу раціональних варіантів послідовності складання виробів. На основі алгоритмічного забезпечення запропоновано моделі для інформаційної технології побудови послідовності складання виробів, використання якої мінімізує тривалість виробничого циклу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чибіряк Я.І., Федотова Н.А., Думанчук М.Ю. Task formalization of constructing rational product assembly sequence // Technol. Audit Prod. Reserv. 2015. Vol. 4, № 2(24). P. 49.
2. Чибіряк Я.І., Вашенко С.М. SumDU Repository: Синтез раціональної послідовності складання редуктора // Сучасні технології у промисловому виробництві матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій. 2015. P. 25.
3. Чибіряк Я.І., Крамар А.О. Моделювання послідовності складання виробів машинобудування // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Інформаційні технології економіка, техніка, освіта 2015». 2015. P. 30–32.
4. Чибіряк Я.І., Крамар А.О. Системний підхід при розробці раціональної послідовності складання виробів // Технологии XXI века сборник тезисов по материалам 22-й международной научной конференции. 2016. P. 153.
5. Чибіряк Я.І., Коноплянченко Є.В., Марченко А.В. Технологические закономерности и математические модели синтеза рациональной последовательности сборки изделий // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2020. Vol. 39. P. 110–116.
6. Чибіряк Я.І., Науменко Ю.В. Формалізація даних про складальний виріб шляхом аналізу його 3D моделі // Інформатика, математика, механіка матеріали та програма Міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів. 2017. P. 125.
7. Чибіряк Я.І., Крамар А.О. Моделювання послідовності складання виробів машинобудування // Інформатика, математика, механіка матеріали та програма Міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів. 2016. P. 99.

8. Чибіряк Я.І., Овчаренко К.В. Моделювання складальних процесів з використанням програмного забезпечення FlexSim // Інформатика, математика, механіка матеріали та програма Міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів. 2020. Р. 181.
9. Гологорский Е.Г., Максимов Д.А. Разборка и сборка резьбовых соединений в ремонтном производстве // Механизация строительства. 2014. Vol. 2, № 836. Р. 3–7.
10. Медведев В.М. Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы // Перспективы развития автоматизации сборки на многопозиционном оборудовании предприятий машиностроительного комплекса РФ. 2016. Р. 114–121.
11. Revina I. V, Trifonova E.N. Simulation modeling of the assembly process // J. Phys. Conf. Ser. 2020. Vol. 1441. Р. 012110.
12. Варганов М., Чунг Та Ч. Сборочное производство: проблемы и решения // Stank. Russ. 2020. Vol. 19, № 2. Р. 22–29.
13. Шевлякова Е.М. Организационно-экономические резервы повышения эффективности сборочного производства: По материалам ОАО “АвтоВАЗ.” 2004.
14. Harms R., Fleschutz T., Seliger G. Knowledge Based Approach to Assembly System Reuse // Volume 1: Advanced Energy Systems; Advanced and Digital Manufacturing; Advanced Materials; Aerospace. ASMEDC, 2008. Р. 295–302.
15. Müller R., Scholer M., Karkowski M. Generic automation task description for flexible assembly systems // Procedia CIRP. Elsevier B.V., 2019. Vol. 81. Р. 730–735.
16. Сімута Р.Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: // дис... канд. техн. наук 05.02.08. – К., 2003. Р. 174 с.

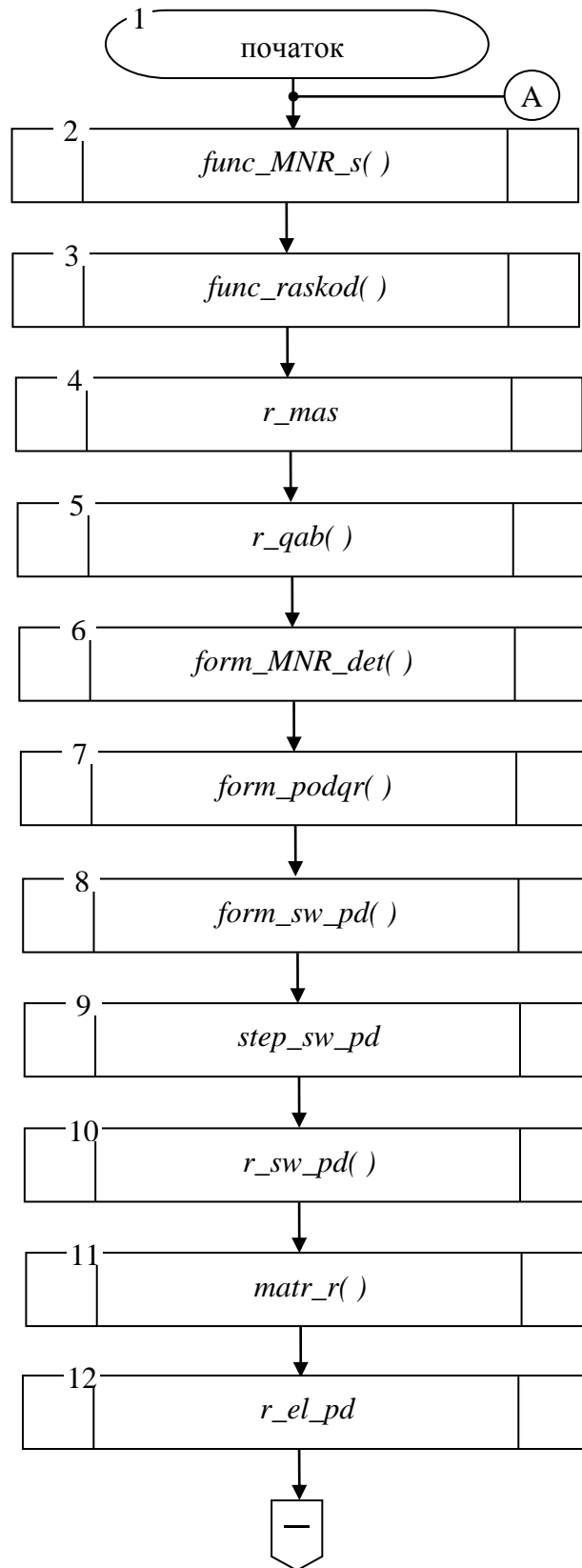
17. Nand K.J. Environment, Sustainability, and Mechanical Engineering // 9th Int. Conf. Eng. Educ. Sustain. Dev. (EESD 2018). 2018. Vol. Rowan Univ.
18. Khusainova L.N. Management of environmental engineering development: The Kemerovo oblast case study // Reg. Econ. Theory Pract. 2017. Vol. 15, № 9. P. 1773–1790.
19. Автоматизация производства автомобилей [Electronic resource]. URL: <http://car-test.net/car-article.php?aid=22> (accessed: 15.11.2020).
20. Пасічник В.А. Зворотний синтез послідовності складання на основі моделі бінарних відношень обмежень рухливості // Технологічні комплекси. Луцький національний технічний університет, 2014. № 1. 25–31 р.
21. Пасічник В.А., Лашина Ю.В. Метод цілеспрямованого проектування складальних виробів та його реалізація у “DFA Expert” // J. Mech. Eng. Natl. Tech. Univ. Ukr. “Kyiv Polytech. Institute.” 2010. Vol. 0, № 59. P. 258–263.
22. Кореньков В.Н., Субін А.А. Методи автоматизованого формування математичних моделей складальних виробів // J. Mech. Eng. Natl. Tech. Univ. Ukr. “Kyiv Polytech. Institute.” 2010. Vol. 0, № 59. P. 264–266.
23. Кореньков В.М., Сімута Р.Р. Структура процесу автоматизованого проектування технології складання виробів // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. 2005. Vol. 32, № 1. P. 100–106.
24. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. Москва: Машиностроение, 2001. 368 р.
25. Григор’єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: Монографія. Луцьк: Надстир’я, 2008. 520 р.
26. Григор’єва Н.С. Модульная сборка в машиностроении. Монографія. Saarbrucken, Deutschland: Palmarium Academic Publishing, 2014. 353 р.

27. Кореньков В.М., Субін А.А. Метод структурного синтезу та оцінки альтернатив при автоматизованому синтезі технологічних процесів складання виробів // Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки». 2008. Vol. 4, № 47. Р. 155–160.
28. Гонсалес-Сабатер А. Система автоматизированного проектирования технологии инструментального производства // Машиностроитель. 1999. № 4. Р. 54–59.
29. Божко А.Н., Родионов С.В. Методы искусственного интеллекта в автоматизированном проектировании процессов сборки // Наука и образование электрон. журн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2010. № 7.
30. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. Москва: Вильямс, 2003. 884 р.
31. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов. Москва: Высшая школа, 2004. 415 р.
32. Yong-Fa Q., Zhi-Gang X. Assembly Process Planning Using a Multi-objective Optimization Method // 2007 International Conference on Mechatronics and Automation. IEEE, 2007. Р. 593–598.
33. Коноплянченко Є.В. Підвищення надійності роботи складальних систем шляхом оптимізації часових технологічних ланцюгів: Автореф. дис. канд. тех. наук : 05.02.08. Нац. техн. ун-т “Харк. політехн. ін-т,” 2001. 20 р.
34. Tregub I., Goroshnikova T. A simulation model of decision-making. ru: INFRA-M Academic Publishing LLC., 2020.
35. Aboud S.J. Evaluation of Simulation Models // Simulation in Computer Network Design and Modeling. IGI Global. Р. 442–458.
36. Garrido J.M. Introduction to Flexsim // Object Oriented Simulation. Boston, MA: Springer US, 2009. Р. 31–42.
37. Беловол А.В. Имитационное моделирование в задачах машиностроительного производства. Харьков: НТУ «ХПИ», 2016. 407 р.

38. Panhalkar N., Paul R., Anand S. Optimization of Automobile Assembly Process to Reduce Assembly Time // *Comput. Aided. Des. Appl.* 2014. Vol. 11, № sup1. P. S54–S60.
39. Bojko A. Algebraic Models of Product Assembly Process // *Sci. Educ. Bauman MSTU.* 2016. Vol. 16, № 12. P. 216–232.
40. Yong-fa Q., Zhi-gang X. Assembly Process Planning Using a Multi-objective Optimization Method // *2007 International Conference on Mechatronics and Automation.* IEEE, 2007. P. 593–598.
41. Novak-Marcincin J. et al. Visualization of intelligent assembling process by augmented reality tools application // *2012 4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics.* IEEE, 2012. P. 33–36.
42. Давыгора В.Н., Пасечник В.А. Теория формализованного синтеза множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки // *Вестник НТУУ «КПИ».* 2000. № 39. P. 55–77.
43. Чибіряк Я.І., Коноплянченко Є.В. Ієрархічна система математичного моделювання визначення послідовності складання виробів // *Вісник НТУ «ХП».* Серія «Технології в машинобудуванні». 2015. Vol. 33. P. 122–126.
44. Чибіряк Я.І. Побудова раціональної послідовності складання з урахуванням впливу конструкторсько-технологічних факторів // *Технології ХХІ сторіччя Збірник тез за матеріалами 25-ої міжнародної науково-практичної конференції.* 2019. P. 126–127.
45. Чибіряк Я.І., Крамар А.О. Повышение эффективности сборочных процессов в машиностроении // *Научные труды SWorld.* 2016. Vol. 45. P. 64–68.

Додаток А

Алгоритмічне забезпечення синтезу раціональної послідовності складання
виробу (фрагмент)



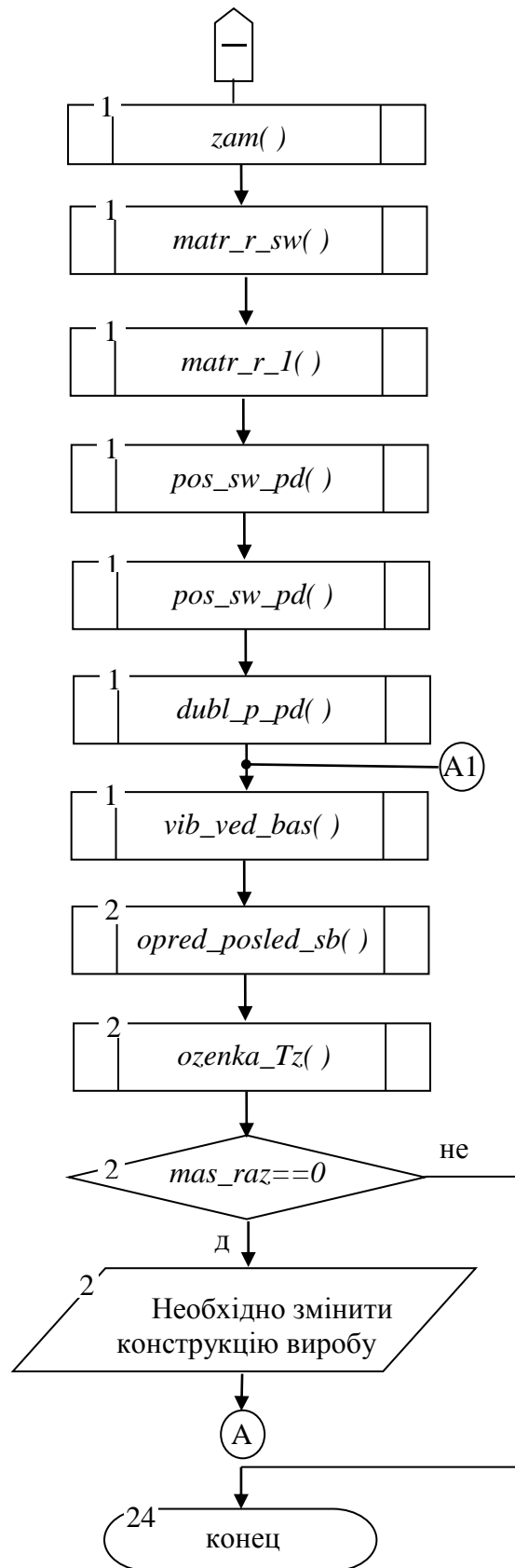


Рисунок А.1 – Схема алгоритму основної програми синтезу множини раціональних по тривалості циклу послідовностей складання виробу

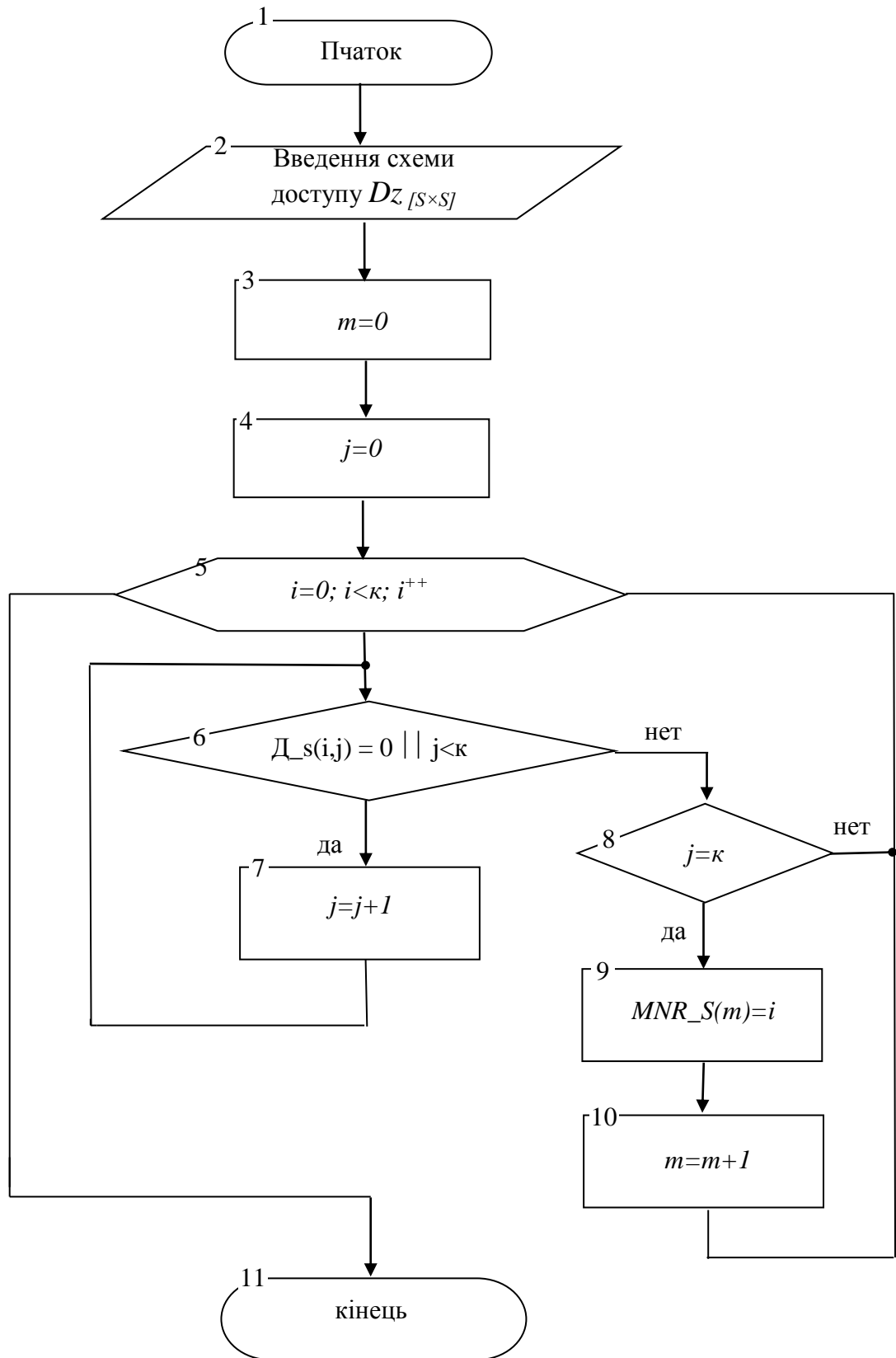


Рисунок А.2 – Схема алгоритму підпрограми $func_MNR_s ()$ формування масиву початку розрахунку (МПП)

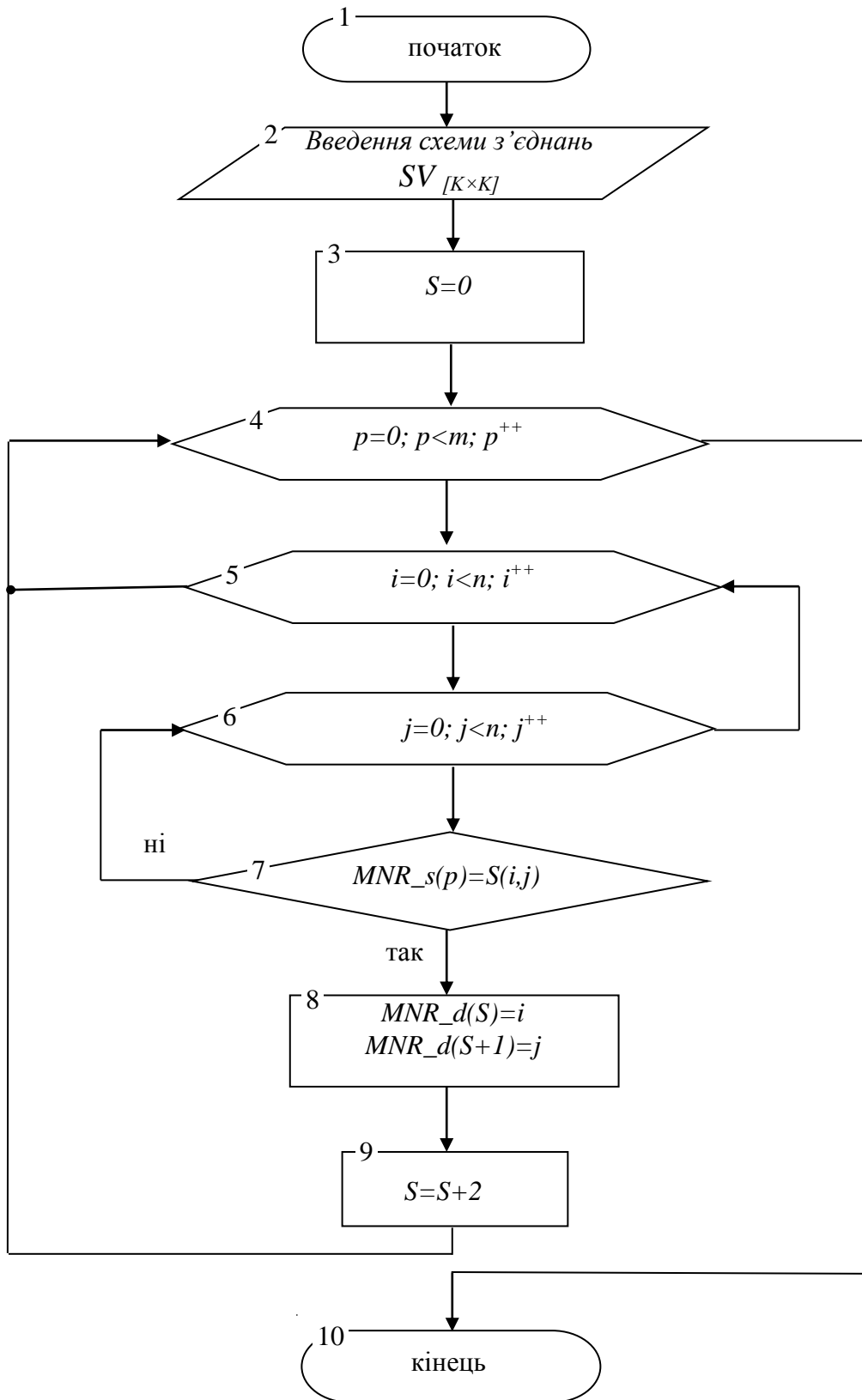


Рисунок А.3 – Схема алгоритму підпрограми *func_raseod()* розкодування МПР

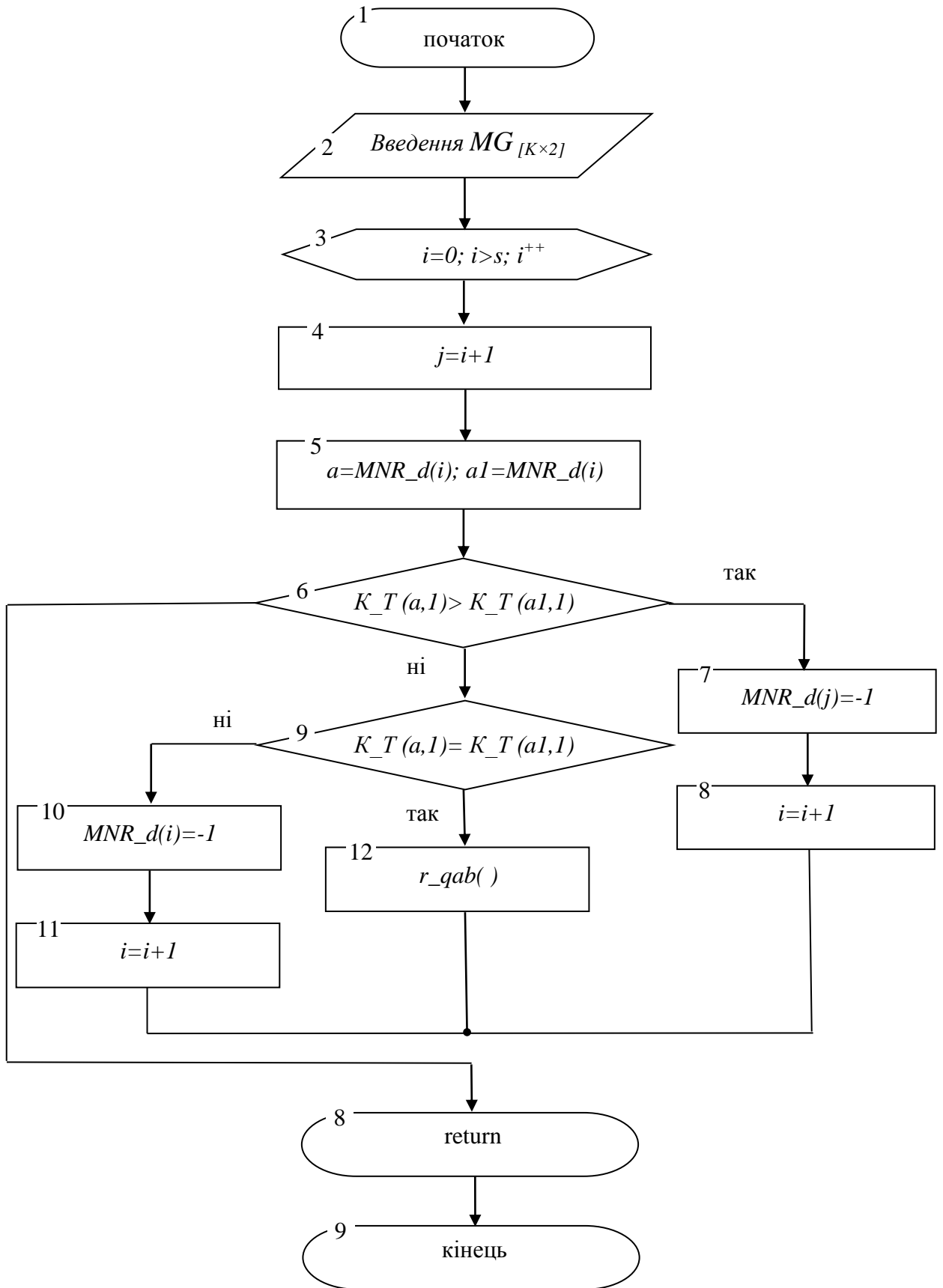


Рисунок А.4 – Схема алгоритму підпрограми $r_mas()$ ранжування СЕ-тів за значенням маси

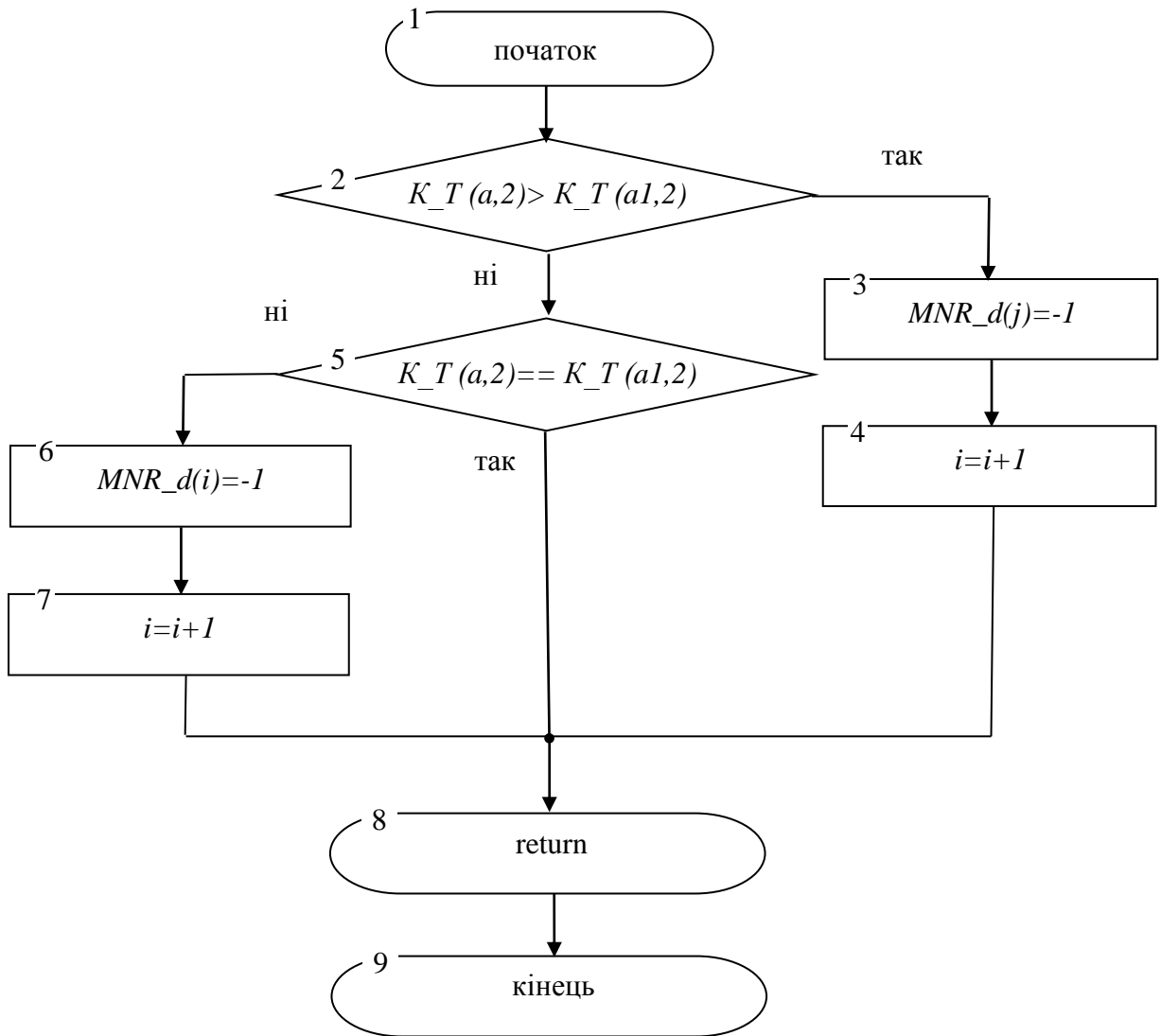


Рисунок А.5 – Схема алгоритму підпрограми r_qab () ранжування СЕ-тів за значенням габаритних розмірів

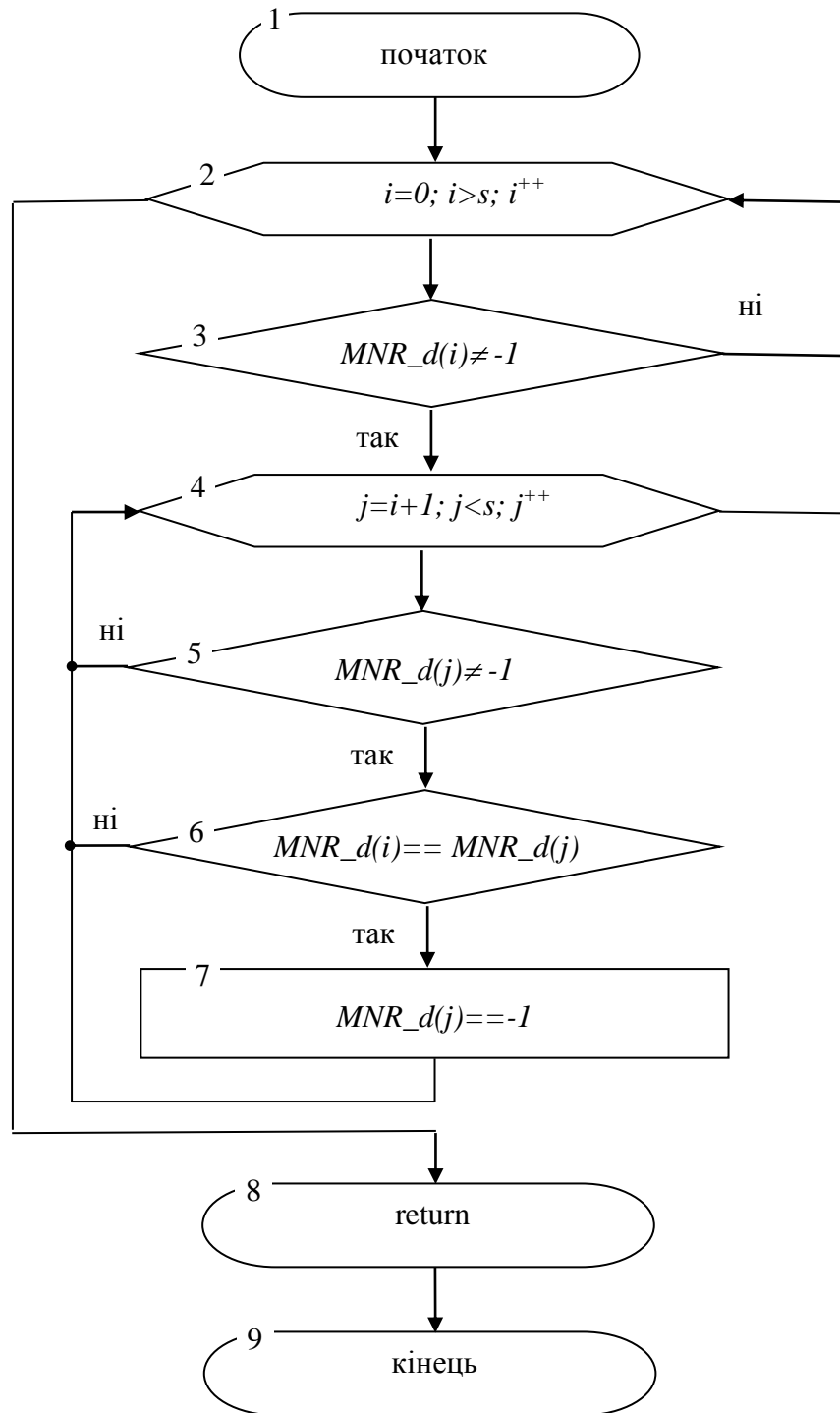


Рисунок А.6 – Схема алгоритму підпрограми $form_MNR_det ()$ видалення повторів СЕ-тів із масиву $MNR_d(S)$

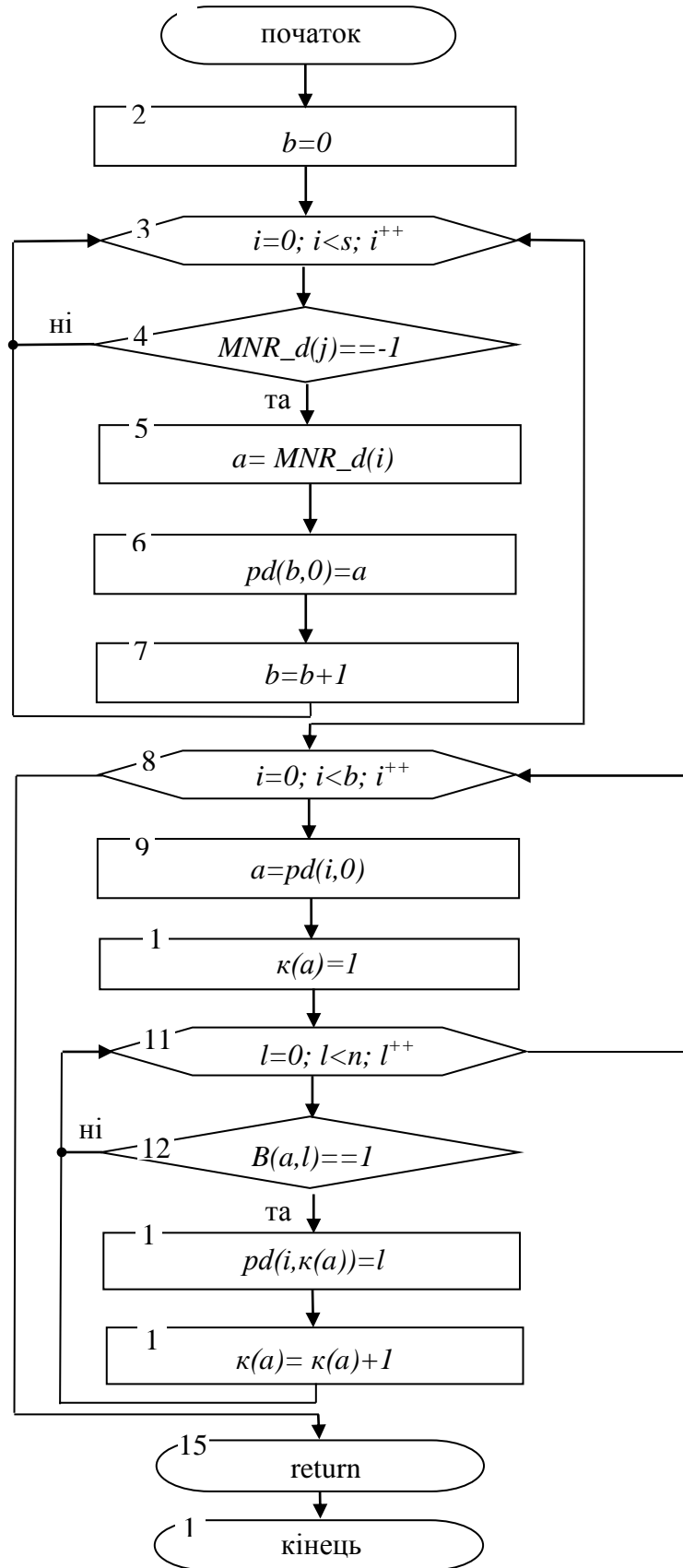
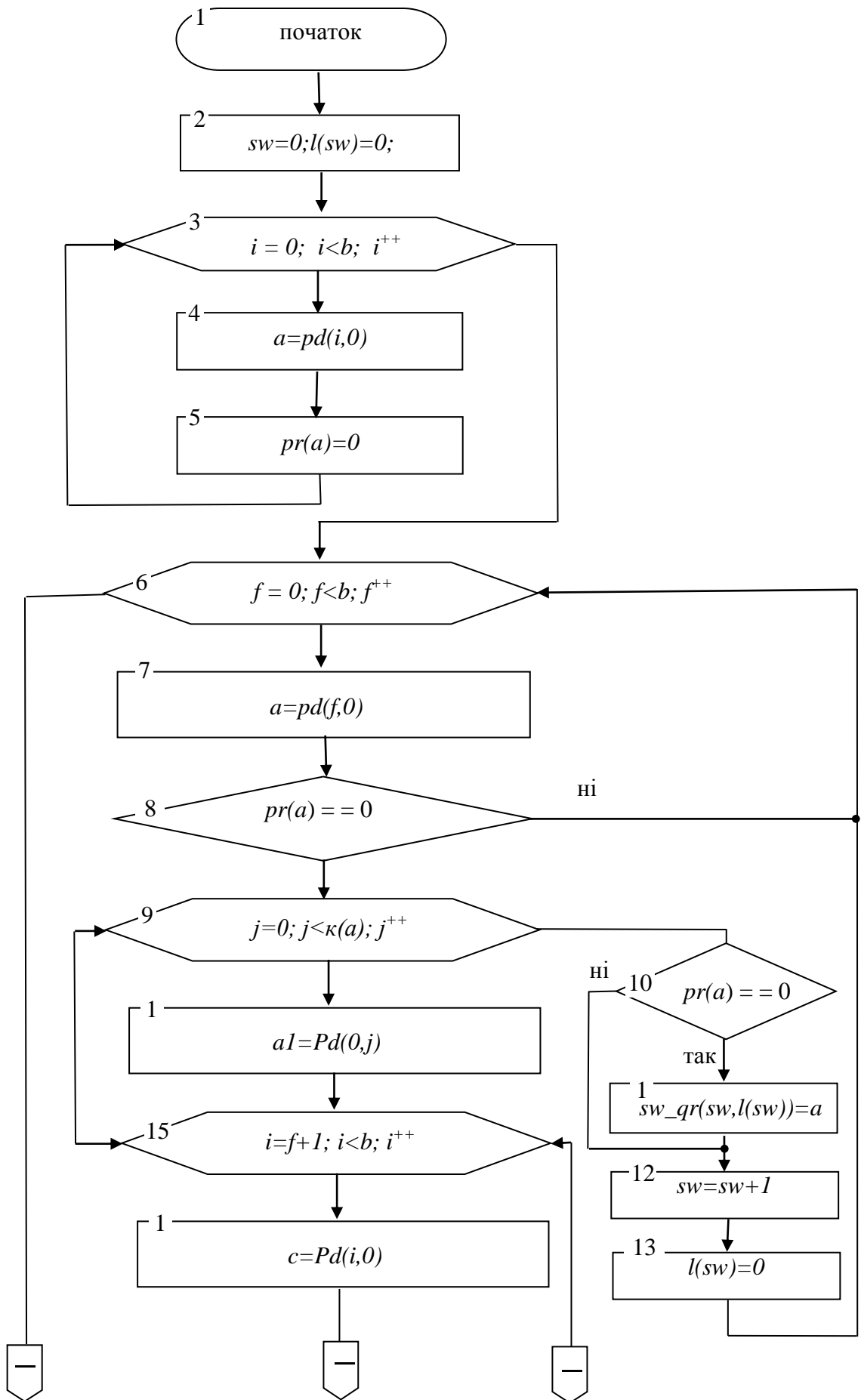


Рисунок А.7 – Схема алгоритму підпрограми *form_podqr()* формування матриці зв'язних підграфів



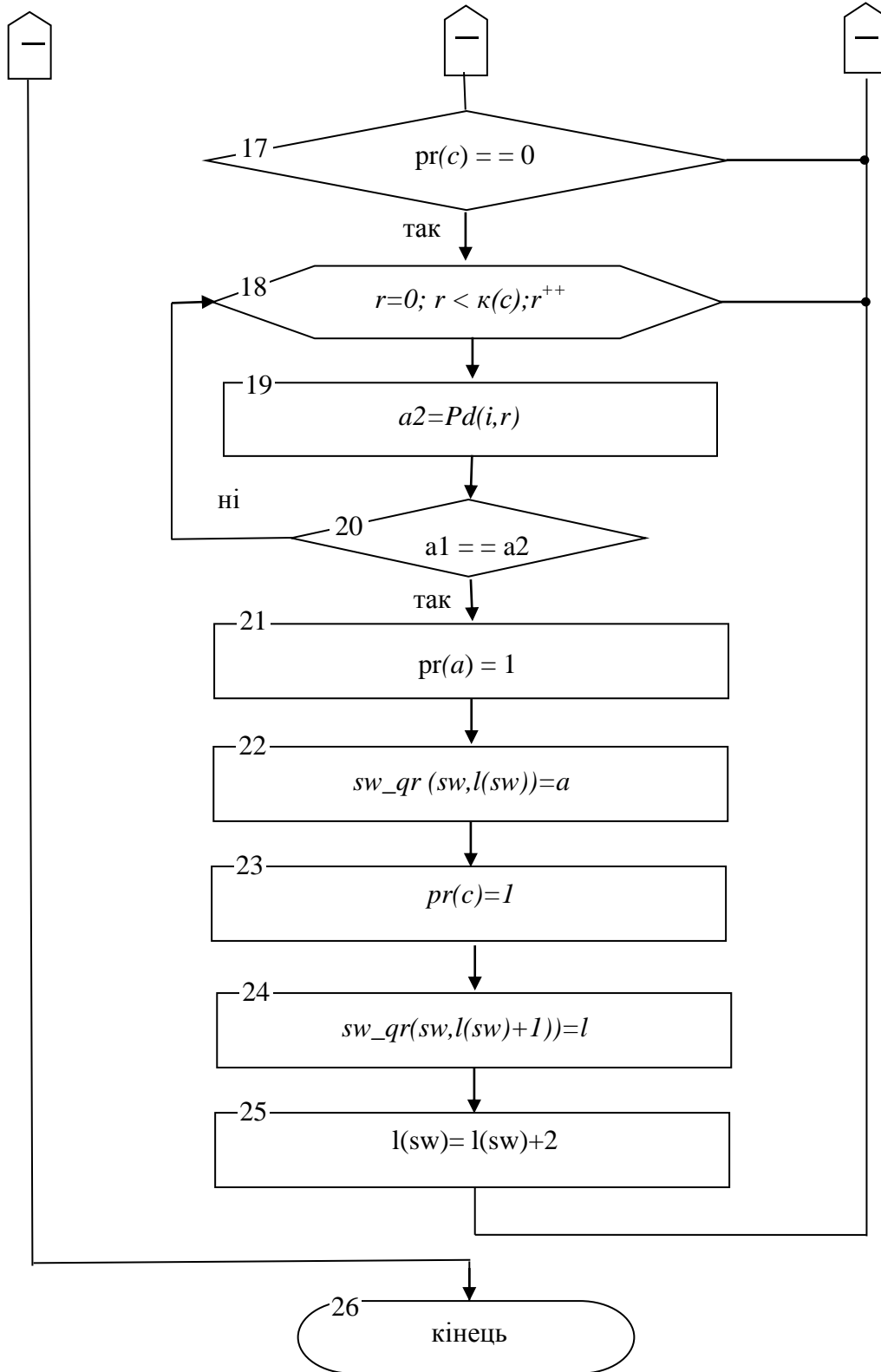


Рисунок А.8 – Схема алгоритму підпрограми *form_sw_pd* () формування матриці зв'язних підграфів *sw_qr* (*i*, *j*)

Додаток Б

Програмне забезпечення синтезу раціональної послідовності складання виробу

```

public void RacTSS(){
    n = dataGridView1.Rows.Count;
    int[,] GOTOVO = new int[n, n]; //масив послідовності
    if (openFile == false)
        MessageBox.Show("Оберіть папку з даними!");
    else{
        menuStrip1.Items[1].Enabled = true;
        double[] Mat_Mas = new double[dataGridView1.Rows.Count];
        double[] Mat_Gab = new double[dataGridView1.Rows.Count];
        int[] Mat_Bal = new int[dataGridView1.Rows.Count];
        int[,] Mat_soed = new int[dataGridView1.Rows.Count,
dataGridView1.Rows.Count];
        int[,] Mat_baz = new int[dataGridView1.Rows.Count,
dataGridView1.Rows.Count];
        int[,] Mat_eko = new int[dataGridView1.Rows.Count,
dataGridView1.Rows.Count];
        int[,] Mat_dost = new int[dataGridView5.Rows.Count,
dataGridView5.Rows.Count];
        int[] Detali = new int[dataGridView1.Rows.Count];
        List<double> Soed = new List<double>(); //перевірка наявності з'єднань
        //розбиття по масивам
        String S;
        int soed = 1;
        for (int i = 0; i < n; i++){
            //матриця БАЛІВ
            Mat_Bal[i] = Convert.ToInt32(dataGridView3.Rows[i].Cells[0].Value.ToString());
            //матриця МАС
            Mat_Mas[i] = Convert.ToDouble(dataGridView1.Rows[i].Cells[0].Value.ToString());
            //матриця ГАБАРИТів
            Mat_Gab[i] = Convert.ToDouble(dataGridView2.Rows[i].Cells[0].Value.ToString());
            //список деталей
            Detali[i] = i + 1;
        }
        for (int i = 0; i < n; i++){
            for (int j = 0; j < n; j++){
                // матриця ЕКО
                Mat_eko[i, j] =
                Convert.ToInt32(dataGridView7.Rows[i].Cells[j].Value.ToString());
                //пишем матрицю BAZ
                Mat_baz[i, j] =
                Convert.ToInt32(dataGridView6.Rows[i].Cells[j].Value.ToString());
                //пишем матрицю SOED
                if (Convert.ToInt32(dataGridView4.Rows[i].Cells[j].Value.ToString())
                == 0)
                    Mat_soed[i, j] =
                Convert.ToInt32(dataGridView4.Rows[i].Cells[j].Value.ToString());
                else
                {
                    Mat_soed[i, j] = soed;
                    soed++;
                }
            }
        }
        int k = 1;
        k = dataGridView5.Rows.Count;
        List<int> Dost = new List<int>();
        //пишем матрицю DOST
    }
}

```

```

for (int i = 0; i < k; i++)
{
    for (int j = 0; j < k; j++)
        Mat_dost[i, j] =
Convert.ToInt32(dataGridView5.Rows[i].Cells[j].Value.ToString());
        Dost.Add(i + 1);
        Soed.Add(i + 1);
}
//БАЗИ ДЛЯ СКЛАДАННЯ
//визначаємо базову деталь виробу
int max = 0, ik = 0, buf = 0;
for (int i = 0; i < n; i++)
{
    for (int j = 0; j < n; j++)
    {
        max = max + Mat_baz[i, j];
    }
    if (max > buf) { buf = max; ik = i + 1; }
    max = 0;
}
//визначаємо базові деталі для вузлового складання
string BAZA_ = "Бази для вузлового складання:";
List<int> BAZA = new List<int>();
BAZA.Add(ik);
for (int j = 0; j < n; j++)
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        if (Mat_baz[i, j] == 1)
            break;
        if (i == n - 1)
        {
            if ((j + 1) != ik)
            {
                BAZA_ = BAZA_ + " " + (j + 1);
                BAZA.Add((j + 1));
            }
        }
    }
}
//відображає базову деталь +\n бази для вузлового складання
//MessageBox.Show("Базова деталь: " + BAZA[0] + "\n" + BAZA_);
//порядок зборки (матриці з'єднань і доступу)
//з'єднання, яким нічого не передує
List<double> Dost_nul = new List<double>();
List<int> Dost_od = new List<int>();
for (int i = 0; i < k; i++)
    for (int j = 0; j < k; j++)
    {
        if (Mat_dost[i, j] != 0)
        {
            if (i <= (k - 2)) i++;
            else break;
            j = 0;
        }
        if (j == (k - 1))
            Dost_nul.Add(i + 1);
    }
ik = 0; max = 0;
List<int> row = new List<int>();
while (max < BAZA.Count)
{
    while (ik < Dost_nul.Count)
    {

```



```

        for (int i = 0; i < n; i++)
        {
            if (Mat_soed[(BAZA[max] - 1), i] == Dost_nul[ik])
            {
                row.Add(BAZA[max]);
                row.Add(i + 1);
            }
        }
        ik++;
    }
    ik = 0; max++;
}
//пишемо інформацію по "простим" з'єднанням
double[,] Prost_soed = new double[(row.Count / 2), 8];
ik = 0; max = 0;
while (max < row.Count)
{
    Prost_soed[ik, 0] = row[max];
    Prost_soed[ik, 1] = row[max + 1];
    Prost_soed[ik, 2] = 1; // 1 или 0 - був повтор або ні
    Prost_soed[ik, 3] = Mat_eko[Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 0]),
Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 1])]; //екологічний фактор для з'єднання
    Prost_soed[ik, 4] = Mat_Bal[Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 1]) - 1];
    Prost_soed[ik, 5] = Mat_Gab[Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 1]) - 1];
    Prost_soed[ik, 6] = Mat_Mas[Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 1]) - 1];
    Prost_soed[ik, 7] = Mat_soed[Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 0]) - 1,
Convert.ToInt32(Prost_soed[ik, 1]) - 1];
    ik++;
    max = max + 2;
}
buf = 0; max = 0;
//вилучаємо елементи, що повторюються для монтування на базову деталь
for (int i = 0; i < (row.Count / 2); i++)
    for (int j = i + 1; j < (row.Count / 2); j++)
    {
        if (Prost_soed[i, 1] == Prost_soed[j, 1])
            Prost_soed[j, 2] = 0;
    }
//вилучаємо ті деталі, які вже брали участь у з'єднаннях із загального списку
for (int i = 0; i < k; i++)
    for (int j = 0; j < ik; j++)
        if (Soed[i] == Prost_soed[j, 7])
            Soed[i] = 0;
// сортируем пузирком по ...
for (int j = 0; j < ik - 1; j++)
{
    for (int i = 0; i < ik - 1; i++)
    {
        double[] bufer = new double[7];
        if (Prost_soed[i, 0] == Prost_soed[i + 1, 0] && Prost_soed[i, 2] ==
1 && Prost_soed[i, 3] == 0)
        {
            //... по BAL
            if (Prost_soed[i, 4] < Prost_soed[i + 1, 4])
            {
                //в буфер
                bufer[0] = Prost_soed[i, 0];
                bufer[1] = Prost_soed[i, 1];
                bufer[2] = Prost_soed[i, 2];
                bufer[3] = Prost_soed[i, 3];
                bufer[4] = Prost_soed[i, 4];
                bufer[5] = Prost_soed[i, 5];
                bufer[6] = Prost_soed[i, 6];
                //меняем местами
            }
        }
    }
}

```

```

Prost_soed[i, 0] = Prost_soed[i + 1, 0];
Prost_soed[i, 1] = Prost_soed[i + 1, 1];
Prost_soed[i, 2] = Prost_soed[i + 1, 2];
Prost_soed[i, 3] = Prost_soed[i + 1, 3];
Prost_soed[i, 4] = Prost_soed[i + 1, 4];
Prost_soed[i, 5] = Prost_soed[i + 1, 5];
Prost_soed[i, 6] = Prost_soed[i + 1, 6];
//із буфера
Prost_soed[i + 1, 0] = bufer[0];
Prost_soed[i + 1, 1] = bufer[1];
Prost_soed[i + 1, 2] = bufer[2];
Prost_soed[i + 1, 3] = bufer[3];
Prost_soed[i + 1, 4] = bufer[4];
Prost_soed[i + 1, 5] = bufer[5];
Prost_soed[i + 1, 6] = bufer[6];
}
//... no bal; GAB
if (Prost_soed[i, 4] == Prost_soed[i + 1, 4]) //по Bal
    if (Prost_soed[i, 5] < Prost_soed[i + 1, 5]) //по Gab
    {
        //в буфер
        bufer[0] = Prost_soed[i, 0];
        bufer[1] = Prost_soed[i, 1];
        bufer[2] = Prost_soed[i, 2];
        bufer[3] = Prost_soed[i, 3];
        bufer[4] = Prost_soed[i, 4];
        bufer[5] = Prost_soed[i, 5];
        bufer[6] = Prost_soed[i, 6];
        //ЗМІНЮЄМО МІСЦЯМИ
        Prost_soed[i, 0] = Prost_soed[i + 1, 0];
        Prost_soed[i, 1] = Prost_soed[i + 1, 1];
        Prost_soed[i, 2] = Prost_soed[i + 1, 2];
        Prost_soed[i, 3] = Prost_soed[i + 1, 3];
        Prost_soed[i, 4] = Prost_soed[i + 1, 4];
        Prost_soed[i, 5] = Prost_soed[i + 1, 5];
        Prost_soed[i, 6] = Prost_soed[i + 1, 6];
        //із буфера
        Prost_soed[i + 1, 0] = bufer[0];
        Prost_soed[i + 1, 1] = bufer[1];
        Prost_soed[i + 1, 2] = bufer[2];
        Prost_soed[i + 1, 3] = bufer[3];
        Prost_soed[i + 1, 4] = bufer[4];
        Prost_soed[i + 1, 5] = bufer[5];
        Prost_soed[i + 1, 6] = bufer[6];
    }
//... no bal; gab; MAS
if (Prost_soed[i, 4] == Prost_soed[i + 1, 4]) //по Bal
    if (Prost_soed[i, 5] == Prost_soed[i + 1, 5]) //по Gab
        if (Prost_soed[i, 6] < Prost_soed[i + 1, 6]) //по Mas
        {
            //в буфер
            bufer[0] = Prost_soed[i, 0];
            bufer[1] = Prost_soed[i, 1];
            bufer[2] = Prost_soed[i, 2];
            bufer[3] = Prost_soed[i, 3];
            bufer[4] = Prost_soed[i, 4];
            bufer[5] = Prost_soed[i, 5];
            bufer[6] = Prost_soed[i, 6];
            // ЗМІНЮЄМО МІСЦЯМИ
            Prost_soed[i, 0] = Prost_soed[i + 1, 0];
            Prost_soed[i, 1] = Prost_soed[i + 1, 1];
            Prost_soed[i, 2] = Prost_soed[i + 1, 2];
            Prost_soed[i, 3] = Prost_soed[i + 1, 3];
            Prost_soed[i, 4] = Prost_soed[i + 1, 4];
        }

```

```

        Prost_soed[i, 5] = Prost_soed[i + 1, 5];
        Prost_soed[i, 6] = Prost_soed[i + 1, 6];
        //із буфера
        Prost_soed[i + 1, 0] = bufer[0];
        Prost_soed[i + 1, 1] = bufer[1];
        Prost_soed[i + 1, 2] = bufer[2];
        Prost_soed[i + 1, 3] = bufer[3];
        Prost_soed[i + 1, 4] = bufer[4];
        Prost_soed[i + 1, 5] = bufer[5];
        Prost_soed[i + 1, 6] = bufer[6];
    }
}
}
for (int i = 0; i < BAZA.Count; i++)
    GOTOVO[i, 0] = BAZA[i];
for (int i = 0; i < BAZA.Count; i++)
{
    int m = 1;
    for (int o = 0; o < ik; o++)
    {
        if (GOTOVO[i, 0] == Convert.ToInt32(Prost_soed[o, 0]) &&
Prost_soed[o, 2] == 1)
        {
            GOTOVO[i, m] = Convert.ToInt32(Prost_soed[o, 1]);
            m++;
            Prost_soed[o, 2] = 1;
        }
    }
}
// визначаємо деталі, які ще не брали участь у складанні
for (int i = 0; i < n; i++)
    for (int j = 0; j < ik; j++)
        if (Detali[i] == Prost_soed[j, 0] || Detali[i] == Prost_soed[j, 1])
            Detali[i] = 0;
//и ставим их в список
List<int> Ostalos = new List<int>();
for (int i = 0; i < n; i++)
    if (Detali[i] != 0)
        Ostalos.Add(Detali[i]);
//вказуємо послідовність деталей, що не брали участь у складанні
//-----
int[,] Det = new int[n, 2];
for (int i = 0; i < n; i++)
    if (Detali[i] != 0)
    {
        for (int ss = 0; ss < n; ss++)
        {
            if (Mat_soed[ss, i] != 0)
                Det[i, 0] = Det[i, 0] + 1;
        }
    }
// формуємо список деталей, що не брали участь у складанні
// масив 1:по СОЕД, 2: по ДОСТ, 3: кол-во баз, 4: БАЗА,если 3==1
int[,] Sloj_soed = new int[Detali.Count(), 7];
//заповнюємо масив деталей, що залишилися
for (int i = 0; i < Ostalos.Count(); i++)
{
    Sloj_soed[i, 0] = Ostalos[i];
    int f1 = 0;
    List<int> Soed_det = new List<int>();
    for (int a = 0; a < n; a++)
    {
        for (int b = 0; b < n; b++)

```

```

    {
        if (b == (Sloj_soed[i, 0]) - 1)
        {
            if (Mat_soed[a, b] != 0)
            {
                f1++;
                Soed_det.Add(Mat_soed[a, b]);
            }
        }
    }
}
Sloj_soed[i, 1] = f1;
f1 = 0;
for (int o = 0; o < Soed_det.Count; o++)
    for (int a = 0; a < k; a++)
        f1 = f1 + Mat_dost[Soed_det[o] - 1, a];
Sloj_soed[i, 2] = f1;
f1 = 0;
int f2 = 0;
for (int a = 0; a < n; a++)
    for (int b = 0; b < n; b++)
        if (b == (Sloj_soed[i, 0]) - 1)
            if (Mat_baz[a, b] != 0)
            {
                f1++;
                f2 = a + 1;
            }
Sloj_soed[i, 3] = f1;
f1 = 0;
for (int a = 0; a < Ostalos.Count; a++)
    if (Sloj_soed[i, 3] == 1)
        Sloj_soed[i, 4] = f2;
    else
        Sloj_soed[i, 4] = 0;
Sloj_soed[i, 5] = 1;
}
//-----
//сортуюмо з'єднання, що залишилися по...
for (int i = 0; i < Ostalos.Count - 1; i++)
{
    int[] bufer = new int[5];
    // ... стовпцю МАТ_ДЕТ (1)
    if (Sloj_soed[i, 1] > Sloj_soed[i + 1, 1])
    {
        //пишемо в буфер із 1го
        bufer[0] = Sloj_soed[i, 0];
        bufer[1] = Sloj_soed[i, 1];
        bufer[2] = Sloj_soed[i, 2];
        bufer[3] = Sloj_soed[i, 3];
        bufer[4] = Sloj_soed[i, 4];
        //із 2го в 1й
        Sloj_soed[i, 0] = Sloj_soed[i + 1, 0];
        Sloj_soed[i, 1] = Sloj_soed[i + 1, 1];
        Sloj_soed[i, 2] = Sloj_soed[i + 1, 2];
        Sloj_soed[i, 3] = Sloj_soed[i + 1, 3];
        Sloj_soed[i, 4] = Sloj_soed[i + 1, 4];
        //із буфера в 2й
        Sloj_soed[i + 1, 0] = bufer[0];
        Sloj_soed[i + 1, 1] = bufer[1];
        Sloj_soed[i + 1, 2] = bufer[2];
        Sloj_soed[i + 1, 3] = bufer[3];
        Sloj_soed[i + 1, 4] = bufer[4];
    }
    // ... якщо (1) однаковий, по строкам МАТ_ДОСТ (2)
}

```

```

if (Sloj_soed[i, 1] == Sloj_soed[i + 1, 1])
    if (Sloj_soed[i, 2] < Sloj_soed[i, 2])
    {
        //пишемо в буфер із 1го
        bufer[0] = Sloj_soed[i, 0];
        bufer[1] = Sloj_soed[i, 1];
        bufer[2] = Sloj_soed[i, 2];
        bufer[3] = Sloj_soed[i, 3];
        bufer[4] = Sloj_soed[i, 4];
        //із 2го в 1й
        Sloj_soed[i, 0] = Sloj_soed[i + 1, 0];
        Sloj_soed[i, 1] = Sloj_soed[i + 1, 1];
        Sloj_soed[i, 2] = Sloj_soed[i + 1, 2];
        Sloj_soed[i, 3] = Sloj_soed[i + 1, 3];
        Sloj_soed[i, 4] = Sloj_soed[i + 1, 4];
        //із буфера в 2й
        Sloj_soed[i + 1, 0] = bufer[0];
        Sloj_soed[i + 1, 1] = bufer[1];
        Sloj_soed[i + 1, 2] = bufer[2];
        Sloj_soed[i + 1, 3] = bufer[3];
        Sloj_soed[i + 1, 4] = bufer[4];
    }
}
// записуємо з'єднання, що залишилися в GOTOVO
// ... якщо (1) і (2) розташували, визначаємо на яку базу ставимо деталь
max = BAZA.Count; //номер строки, що додається
for (int i = 0; i < Oсталos.Count; i++)
{
    if (Sloj_soed[i, 4] != 0 && Sloj_soed[i, 5] == 1)
    {
        for (int a = 0; a < BAZA.Count; a++)
            for (int b = 0; b < n; b++)
                if (GOTOVO[a, b] == Sloj_soed[i, 4])
                    for (int f = 0; f < n; f++)
                        if (GOTOVO[a, f] == 0)
                        {
                            GOTOVO[a, f] = Sloj_soed[i, 0];
                            break;
                        }
        Sloj_soed[i, 5] = 0;
    }
    else
    {
        GOTOVO[max, 0] = Sloj_soed[i, 0];
        max++;
        Sloj_soed[i, 5] = 0;
    }
}
//виведення
S = "";
for (int i = 0; i < n; i++)
{
    if (GOTOVO[i, 0] != 0)
    {
        for (int j = 0; j < n; j++)
            if (GOTOVO[i, j] != 0)
                S = S + " " + GOTOVO[i, j];
        S = "";
    }
    else
        break;
}
//якщо даний файл є в наявності - видаляємо
if (File.Exists("C:\\GOTOVO.txt"))

```

```

        File.Delete("C:\\GOTOVO.txt");
        FileStream fs = File.Create("C:\\GOTOVO.txt");
        StreamWriter fs_ = new StreamWriter(fs);
        fs_.WriteLine(n);
        for (int i = 0; i < n; i++)
            for (int j = 0; j < n; j++)
                fs_.WriteLine(GOTOVO[i, j].ToString());
        fs_.Close();
        fs.Close();
        if (graf == true)
    {
        //створення файлу результату
        FileStream fa = File.Create(FBD.SelectedPath+"/RacTSS.txt");
        StreamWriter f_ = new StreamWriter(fa);
        f_.WriteLine("Раціональна послідовність складання виробу:");
        //запис результату до файлу
        for (int i=0;i<n;i++)
        {
            string Strin="";
            for (int j = 0; j < n; j++)
            {
                if (GOTOVO[i, j] != 0)
                    Strin = Strin + GOTOVO[i, j] + ".";
                else
                    break;
            }
            if (Strin.Length != 0)
                f_.WriteLine(Strin);
            else
                break;
        }
        f_.Close();
    }
    //перевірка значення Ксв
    int r = 0, b_=0;
    max = 0; k = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        b_ = -1;
        if (GOTOVO[i, 0] == 0) break;
        if (GOTOVO[i, 0] != 0 && GOTOVO[i, 1] == 0)
            r++;
        for (int j = 0; j < n; j++)
            if (GOTOVO[i, j] != 0)
                b_++;
        else
            break;
        if (b_ > max) max = b_;
        k = i+1;
    }
    r = r + max + k/2; //к-сть складальних рівнів
    if ((2 * (r - 1) / n > 1) || (2 * (r - 1) / n < (2 * Math.Log(n, 2)) / n))
        MessageBox.Show("Для даної конструкції виробу /n не можливо спроектувати
раціональну за тривалістю виробничого циклу /n послідовність складання. /n Рекомендується
змінити конструкцію виробу.");
    } }

```

Додаток В

Публікації за темою роботи



УДК 621.727

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47919

Чибіряк Я. І.,
Федотова Н. А.,
Думанчук М. Ю.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПОВУДОВИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Запропоновано математичні моделі, що відображають зв'язки базування та розмірні зв'язки між складальними елементами, враховують обмеження доступу, конструкторсько-технологічні та екологічні критерії складальних процесів. З їх використанням розроблено метод синтезу раціональної послідовності складання виробів, який відрізняється тим, що при побудові варіантів послідовності складання враховується комплекс технологічних та екологічних обмежень, що дозволяє забезпечити задану якість виробу та мінімізувати тривалість виробничого циклу.

Ключові слова: тривалість виробничого циклу, екологічні обмеження, послідовність складання, метод, алгоритм.

1. Вступ

Забезпечення високої конкурентоспроможності випускаючих виробів вимагає підвищення якості їх виготовлення з одночасним зниженням виробничих затрат. Процес складання являється заключним і визначним етапом виробничого процесу. Дослідження оптимізації

складальних виробництв показують, що від обраного варіанту складання залежить трудомісткість технологічного процесу, собівартість обладнання, витрати на процес складання. При цьому важливо проектувати саме такий варіант складання виробу, що дозволяє скоротити виробничий цикл, так як це призводить до збільшення продуктивності праці, зменшення виробничих площ, зниження

собівартості продукції, до прискорення обігу коштів, вкладених у виробництво. Скорочення тривалості і підвищення якості проектування технологічних процесів забезпечується використанням ЕОМ. Раціональне використання ЕОМ пов'язано з потребою формального опису задачі визначення раціональної послідовності складання. У зв'язку з цим тема роботи є актуальною.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Аналіз сучасного стану складальних процесів дозволяє відмітити [1–6]:

- зростання трудомісткості складальних робіт, що є наслідком ускладнення конструкції виробів машинобудування;
- відставання рівня механізації та автоматизації складальних процесів від заготівельних та механообробних;
- значне використання одноманітної та низькоєфективної ручної праці;
- низький рівень якості та організації складальних процесів.

Тому удосконалення технології, організації, механізації та автоматизації складальних процесів є основним ндуковим напрямком розвитку технологічних процесів складання. Приклади удосконалення складальних процесів [7–9] показують, що при рішенні даної задачі необхідно, з використанням системного підходу, враховувати всі складові виробничого процесу. Важливим завданням при оптимізації складальних процесів являється знаходження раціонального варіанту технологічного процесу складання. Від обраного варіанту складання виробу залежить його якість, продуктивність робіт, собівартість, тривалість виробничого циклу [10].

Задачу визначення раціональної послідовності складання відносять до класу слабо структурованих та таких, що важко піддаються формалізації [11, 12]. В [12] для рішення даної задачі було використано теорію підтримки і прийняття рішень. В роботах [2, 13–15] для проектування технологічних процесів складання застосовують методи штучного інтелекту, теорію графів, матриць, множин. В [16, 17] запропонована оптимізація виробничого циклу із застосуванням часових ланцюгів технологічного процесу.

Проведений аналіз показує наявність теоретичних та практичних напрацювань в області удосконалення складальних процесів. Однак запропоновані методи не дозволяють отримати таку послідовність складання, яка б забезпечувала мінімізацію тривалості виробничого циклу з урахуванням комплексу технологічних та екологічних факторів.

Тому виникає потреба у розробці математичних моделей, що відображають ряд конструкторсько-технологічних та екологічних вимог до процесу складання, представленні даних моделей у вигляді, зручному для збереження в пам'яті ЕОМ; та розробці алгоритму побудови раціональної послідовності складання виробів.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження – технологічний процес складання виробів.

Мета дослідження – розробити математичне та алгоритмічне забезпечення рішення задачі побудови раціональ-

ної послідовності складання виробів з метою мінімізації тривалості виробничого циклу.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- з використанням теорії матриць графів та ієрархічної будови виробів розробити математичні моделі, що дозволяють врахувати зв'язки базування, обмеження доступу, розмірні зв'язки між складальними елементами, можливості виробничої системи, екологічно несприятливі складальні операції;
- розробити правила раціоналізації процесу складання виробів;
- розробити метод визначення раціональної послідовності складання виробів.

4. Розробка математичного забезпечення рішення задачі

Проектування всіх теоретично можливих варіантів складання виробу супроводжується значними обчислювальними витратами. Оскільки цінність представляють саме ті варіанти, які можуть бути реалізовані у заданій виробничій системі, то необхідно сформувати ряд обмежень, які дозволять у процесі проектування відсіювати не придатні для практичної реалізації варіанти складання. В якості таких обмежень використовується комплекс технологічних та екологічних критеріїв складального процесу, представлених у вигляді матриць.

Визначимо матрицю $Q_{n \times n}$, що відображає зв'язок наявних операційних комплексів із складальними операціями. Елементи матриці $Q_{n \times n} = \{q_{ij}\}$ приймають значення рівні:

- $q_{ij} = 1$, якщо i -та операція може бути реалізована j -м операційним комплексом;
- $q_{ij} = 0$, у протилежному випадку.

Для врахування характеристик виробничої системи введемо матрицю $R_{n \times n}$, що відображає зв'язок транспортних засобів з операційними комплексами. Елементи матриці $T_{n \times n} = \{t_{ij}\}$ приймають такі значення:

- $t_{ij} = 1$, якщо i -й та j -й операційні комплекси працюють тільки послідовно;
- $t_{ij} = 2$, якщо i -й та j -й операційні комплекси працюють тільки паралельно;
- $t_{ij} = 3$, якщо i -й та j -й операційні комплекси можуть працювати як послідовно, так і паралельно;
- $t_{ij} = 0$, в інших випадках.

На послідовність складання також впливає ряд конструкторських обмежень, які відображаються у вигляді матриць базування і доступу. Вони задають порядок входження складальних елементів у виріб. Визначимо елементи матриці базування $B_{N \times N} = \{b_{ij}\}$:

- $b_{ij} = 1$, якщо між i -м та j -м складальним елементом існує складальна операція;
- $b_{ij} = 0$, у протилежному випадку.

Елементи матриці доступу деталей $D_{N \times N} = \{d_{ij}\}$ приймають значення:

- $d_{ij} = 1$, якщо i -й складальний елемент передує j -му при складанні виробу;
- $d_{ij} = 0$, в інших випадках.

Матриця $D_{N \times N} = \{d_{ij}\}$ задає порядок входження деталей у виріб. Для визначення порядку виконання наявних складальних операцій введемо матрицю доступу з'єднань $Z_{n \times n} = \{z_{ij}\}$, елементи якої:

- $z_{ij} = 1$, якщо i -та складальна операція передувє j -ї при складанні виробу;
- $d_{ij} = 0$, в інших випадках.

Крім безпосереднього контакту поверхонь, взаємне розташування деталей та порядок їх входження у виріб, задаються складальними розмірними ланцюгами (СРЛ). Як правило, виріб має кілька СРЛ. Тому для визначення порядку їх реалізації здійснюється ранжування розмірних ланцюгів. В основу ранжування покладено технологічні правила врахування СРЛ при складанні виробу [3]. Математична модель розмірних зв'язків між складальними елементами повинна забезпечити визначення методу досягнення точності та знаходження замикаючої ланки.

Елементи матриці розмірних зв'язків $R_{N \times N} = \{r_{ij}\}$ приймають наступні значення:

- $r_{ij} = 1$, якщо i -ї та j -ї складальні елементи пов'язані розмірним зв'язком;
- $r_{ij} = 0$, якщо i -ї та j -ї складальні елементи не мають розмірного зв'язку;
- $r_{ij} = p$, якщо i -ї та j -ї складальні елементи пов'язані замикаючою ланкою в даному СРЛ.

У залежності від методу досягнення точності замикаючої ланки параметр p набуває таких значень:

- $p = 2$ – метод повної взаємозамінності;
- $p = 3$ – метод неповної взаємозамінності;
- $p = 4$ – метод групової взаємозамінності;
- $p = 5$ – метод пригонки;
- $p = 6$ – метод регулювання;
- $p = 7$ – застосування компенсуючих матеріалів.

Для врахування точності виготовлення складальних елементів визначимо одновірний масив $K_N = \{k_i\}$. Елемент масиву k_i рівний числовому значенню квалітета точності виготовлення i -го складального елемента.

Значення мас складальних одиниць зберігається у одновірному масиві $M_N = \{m_i\}$, елементи m_i якого рівні числовим значенням маси (в кілограмах) відповідної i -ї складальної одиниці. Масив, що містить інформацію про габаритні розміри складальних одиниць $G_N = \{g_i\}$:

- значення $g_i = 1$, якщо i -ї елемент має незначні габарити;
- $g_i = 2$, при середніх габаритах i -го елемента;
- $g_i = 3$, при значних габаритах i -го елемента.

Для врахування придатності складальних елементів до автоматизованого процесу складання визначимо масив технологічних ознак $A_N = \{a_i\}$, в якому елемент a_i рівний балу технологічності, що визначається за матрицею технологічних ознак [3] для i -го елемента.

У процесі складання деякі операції (зварювання, склеювання, спаювання) можуть здійснювати негативний вплив на навколишнє середовище та на стан здоров'я працюючих людей. З метою визначення таких операцій введемо матрицю екологічних факторів $E_N = \{e_i\}$, для якої:

- $e_i = 1$, якщо i -та складальна операція є екологічно несприятливою;
- $e_i = 0$ – у протилежному випадку.

Інформація, представлена у вигляді матриць має ряд переваг:

- відображає комплекс технологічних та екологічних факторів процесу складання;

- придатна для збереження у пам'яті ЕОМ;
- в автоматичному режимі дозволяє будувати процес рішення поставленої задачі.

5. Розробка алгоритмічного забезпечення рішення задачі

Будь-який виріб можна представити у вигляді блочно-модульної структури (рис. 1).

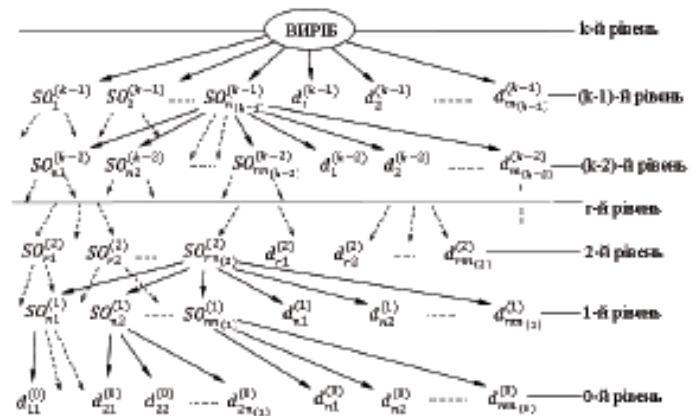


Рис. 1. Структура виробу. SO – складальні одиниці, d – деталь.

Граф має $(k+1)$ рівнів. На k -му рівні знаходиться зібраний виріб. $(k-1)$ -ї рівень утворює множина складальних одиниць (СО) $SO_i^{(k-1)}$, ($i=1, n_{(k-1)}$) та деталі $d_{j(k-1)}$, ($j(k-1)=1, m_{(k-1)}$), що з'являються після 1-го етапу розбирання виробу. Відповідно $(k-2)$ -ї рівень має СО – $SO_{i(k-2)}$, ($i(k-2)=1, n_{(k-2)}$) і деталі – $d_{j(k-2)}$, ($j(k-2)=1, m_{(k-2)}$). Аналогічно утворюються рівні $(k-3)$, $(k-4)$, ..., 1. На 0-му рівні знаходяться елементарні деталі.

Аналіз технології складальних робіт [3–7] та ієрархічної будови виробів (рис. 1) дозволив сформулювати правила побудови раціональної послідовності складання:

1. Складальні одиниці, що знаходяться на одному рівні ієрархії (рис. 1) можуть мати довільну послідовність складання. Такі елементи мають спільні поверхні базування, а отже для їх виявлення користуються матрицею $B_{N \times N} = \{b_{ij}\}$.

2. Якщо складальні одиниці знаходяться на різних рівнях ієрархії (рис. 1) і мають спільні поверхні базування за матрицею $B_{N \times N} = \{b_{ij}\}$, то послідовність їх складання визначається наступними умовами:

- якщо складальна одиниця входить в склад іншої, то вхідна збирається раніше тієї, в яку вона входить;
- якщо складальні одиниці є незалежними, то необхідно, використовуючи матриці $Z_{\infty \infty} = \{z_{ij}\}$ та $Q_{\infty \infty} = \{q_{ij}\}$ розглянути можливість їх паралельного складання.

3. Серед наявних у виробі складальних розмірних ланцюгів (СРЛ) пріоритет у реалізації мають ті ланцюги, що містять найбільшу кількість ланок. Тобто є найскладнішими. Для виявлення таких СРЛ користуються матрицею розмірних зв'язків $R_{N \times N} = \{r_{ij}\}$.

4. При наявності кількох СРЛ однакової складності, в першу чергу реалізуються ті СРЛ, що містять ланки, які входять до складу найбільшої кількості інших розмірних ланцюгів (використовують матрицю $R_{N \times N} = \{r_{ij}\}$).

Дана умова забезпечує мінімізацію кількості установів у процесі складання, що призводить до скорочення тривалості виробничого циклу.

5. Серед кількох СРЛ, що одночасно відповідають 4-й та 5-й умовам, перевагу в послідовності складання віддають тим СРЛ, до яких пред'являються підвищені вимоги точності (використовують матрицю $R_{N \times N} = \{r_{ij}\}$).

6. Реалізація окремого СРЛ звершується замкнутою ланкою (використовують матрицю $R_{N \times N} = \{r_{ij}\}$).

7. В кожному СРЛ в першу чергу з'єднанню піддають ті деталі, що мають нижчий квалітет точності (використовують масив $K_N = \{k_i\}$). Якщо почати збирання з менш точних деталей, то сумарна похибка складання деталей, виконаних з високою точністю, різко збільшується.

8. Вищий пріоритет у послідовності складання мають ті елементи, яким присвоєно більше значення балу технологічності, що визначається за методикою, приведену в [3] (використовують масив технологічних ознак $A_N = \{a_i\}$). Дана умова дозволяє будувати таку послідовність складання виробу, при якій спочатку реалізується складання елементів, більш придатних до автоматизованого складання, а в останню чергу виконуються ті операції, що вимагають більших часових та трудових витрат (ручне складання).

9. Елементи з більшою масою та габаритними розмірами мають вищий пріоритет у процесі складання (використовують відповідні масиви $M_N = \{m_i\}$ та $G_N = \{g_i\}$).

10. Екологічно несприятливі складальні операції необхідно виконувати в кінці технологічного процесу на окремих складальних ділянках (враховується матриця екологічних факторів $E_m = \{e_i\}$).

11. Мінімізувати тривалість процесу складання можна за рахунок:

- одночасної установки кількох базових деталей на базу;
- зменшення кількості установів і позицій;
- паралельної реалізації окремих складальних одиниць.

Використовуючи розроблені матриці технологічних, екологічних ознак та правила раціоналізації процесу складання, було розроблено метод побудови раціональної послідовності складання виробів, блок-схема алгоритму якого представлена на рис. 2.

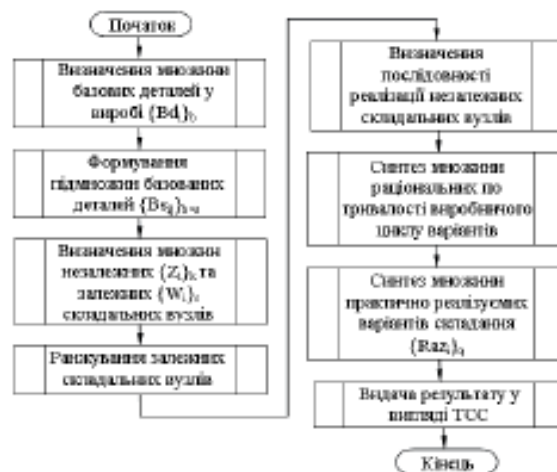


Рис. 2. Блок-схема алгоритму побудови раціональної послідовності складання виробів

Рішення задачі побудови раціональної послідовності складання має наступні етапи: визначення в загальній структурі виробу окремих складальних одиниць (складальних вузлів); визначення порядку їх входження у виріб; побудова послідовності складання елементів, які ввійшли до складу окремих вузлів; формування множини варіантів послідовностей складання всього виробу; відбір оптимальних по тривалості виробничого циклу варіантів складання; відбір множини практично реалізуємих варіантів складання у заданій виробничій системі.

Дані етапи виконуються в автоматичному режимі з використанням побудованих математичних моделей у вигляді матриць, представлених вище.

Поділ виробу на окремі складальні одиниці передбачає визначення множини базових деталей Bd_i ($i = 1, \dots, b$). Базові деталі визначають взаємне розташування інших деталей у виробі. На наступному етапі для кожної базової деталі визначається набір базованих деталей Bs_{ij} ($i = 1, \dots, b; j = 1, \dots, s$). Таким чином, кожній базовій деталі відповідає свій набір базованих.

Визначені складальні вузли поділяють на дві групи. Перша група $\{Z_i\}_k$ ($k = 1, 2, \dots, l$) – вузли, що не мають спільних базованих деталей. Дані вузли є незалежними між собою, тому існує можливість їх паралельної реалізації у заданій виробничій системі з метою скорочення тривалості виробничого циклу.

Така можливість розглядається з використанням матриць взаємозв'язку операційних комплексів $R_{n \times m}$. Друга група $\{W_i\}_c$ ($c = 1, 2, \dots, (b-l)$) – це вузли, що містять спільні деталі (залежні вузли). Їх об'єднують в одну складену групу. Такі складені групи містять кілька базових деталей. Тому вузли, що ввійшли до складених груп піддають ранжуванню з метою визначення ведучої базової деталі, з якої починають процес складання. Від вибору базової деталі залежить кількість установів і позицій, точність спряження поверхонь деталей, послідовність складання.

Отже, змінюючи базу деталі у залежних вузлах, можна впливати на дані показники і отримувати різну послідовність складання. Правила ранжування, що покладені в основу алгоритму, враховують масу складальних елементів, габарити, точність виготовлення, розмірні зв'язки, екологічні обмеження та інші правила побудови раціональних процесів складання, що були приведені вище. Наприклад, при застосуванні правил ранжування до складальної одиниці, що містить екологічно несприятливу складальну операцію, буде присвоєно останній ранг, в результаті чого реалізація даного вузла здійснюватиметься в останню чергу. Як наслідок, операції, що супроводжуються підвищенням шумом, вібрацією, температурою, застосуванням токсичних матеріалів буде винесено в кінець технологічного процесу. Це дозволить виконувати їх на окремих, спеціально обладнаних за всіма вимогами техніки безпеки виробничих ділянках, не порушуючи при цьому прямоточність процесу складання і не збільшуючи його тривалості. Якщо після проведення процесу ранжування кілька вузлів мають однаковий ранг, розглядається можливість їх паралельного складання, що призводить до мінімізації тривалості робочого циклу.

Послідовності складання представляються у вигляді ТСС (рис. 3), що є основою для розробки загального технологічного процесу складання виробу.

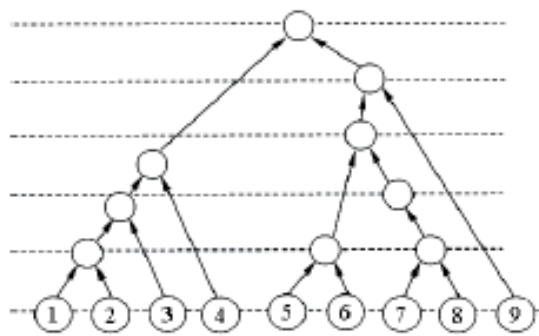


Рис. 3. ТСС виробу з 9 деталей

Кількісна оцінка отриманих структурних видів ТСС здійснюється за коефіцієнтом структурного виду $k_{ст}$ [3]:

$$k_{ст} = \frac{2(R-1)}{N}, \quad (1)$$

де R – кількість рівнів графа ТСС.

Якщо розрахований коефіцієнт знаходиться у діапазоні:

$$\frac{2\log_2 N}{N} \leq k_{ст} \leq 1, \quad (2)$$

це означає, що варіант складання, який відображається ТСС, що відповідає розрахованому коефіцієнту $k_{ст}$, є раціональним по тривалості виробничого циклу.

Отже, серед множини варіантів складання відбираються такі ТСС, що забезпечують мінімізацію тривалості складання. Вони утворюють множину $\{Raz\}_q$ раціональних варіантів складання.

На останньому етапі здійснюється перевірка отриманих раціональних варіантів складання $\{\{Raz\}_q$ на придатність їх реалізації у заданій виробничій системі. Для цього використовується матриця $R_{с\>м}$, яка відображає зв'язок транспортних засобів з операційними комплексами та матриця $Q_{с\>м}$, яка пов'язує наявні на виробництві операційні комплекси з виконуваними операціями. В кінцевому підсумку отримуємо множину раціональних по тривалості та практично реалізуємих варіантів складання виробу.

6. Обговорення результатів розробки методу побудови раціональної послідовності складання виробів

Запропонований метод побудови раціональної послідовності складання виробів призводить до скорочення тривалості виробничого циклу. Це дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити виробничі площі на підприємстві, знизити собівартість продукції.

Метод враховує технологію виконання складальних процесів за допомогою розроблених математичних моделей, представлених у вигляді матриць: матриця розмірних зв'язків $R_{N \times N} = \{r_{ij}\}$ – дозволяє врахувати складальні розмірні ланцюги; матриці $Q_{с\>м}$ і $R_{с\>м}$ – відображають структуру виробничої системи; масив $K_N = \{k_i\}$ – дозволяє врахувати якість точності виготовлення дета-

лей; матриці базування $B_{N \times N}$ та доступу $D_{N \times N}$ – задають порядок входження складальних елементів у виріб; масив технологічних ознак $A_N = \{a_i\}$ – враховує придатність елементів до автоматизованого процесу складання; матриця екологічних обмежень $E_m = \{e_i\}$ – дозволяє врахувати операції, що негативно впливають на стан навколишнього середовища та винести їх в кінець технологічного процесу складання для виконання на окремих, спеціально обладнаних виробничих ділянках.

Матриці мають просту будову, придатні для збереження у пам'яті ЕОМ, не потребують значних обчислювальних витрат при виконанні операцій з їх використанням у процесі реалізації методу.

Виходячи із структури виробу, розроблений метод забезпечує зменшення тривалості виробничого циклу за рахунок:

- одночасної установки кількох базованих деталей на базу;
- зменшення кількості установів і позицій;
- виділення вузлових складання.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на визначення резервів скорочення тривалості виробничого циклу за рахунок структури виробничої системи з урахуванням виду обладнання та технології виконання операцій.

7. Висновки

Аналіз закономірностей моделювання технологічних процесів складання дозволив розробити математичні моделі, що описують структуру виробу та виробничої системи. Математичні моделі враховують ряд технологічних і екологічних факторів складальних процесів та дозволяють в автоматичному режимі вирішити задачу побудови оптимальної послідовності складання виробів за критерієм економії часу.

Приведені у роботі правила раціоналізації складальних процесів дозволили обмежити перебір можливих варіантів складання з метою вибору раціонального.

На основі правил розроблено метод, що враховує складальні розмірні ланцюги, одночасне приєднання кількох базованих деталей до базової; точність виготовлення деталей; зменшення кількості установів; виділення вузлових складання.

Застосування методу дозволяє отримати раціональний по тривалості виробничого циклу варіант складання, що є придатним для реалізації у заданій виробничій системі.

Література

1. Арпентьев, Б. М. Проектирование качества функционирования технических систем [Текст] / Б. М. Арпентьев, А. Н. Куцян, Ю. И. Словин // Вестник НТУ «ХПИ». – 2001. – Вып. 10. – С. 41–49.
2. Зарубин, В. Н. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства [Текст] / В. Н. Зарубин, Н. М. Капустин. – М.: Машиностроение, 1979. – 274 с.
3. Захаров, Н. В. Разработка технологических процессов сборки [Текст]: учеб. пос. / Н. В. Захаров, Ю. В. Тимофеев. – К.: УМКВО, 1992. – 152 с.
4. Лебедевский, М. С. Автоматизация процессов в машиностроении [Текст]: учеб. пос. / М. С. Лебедевский. – Л.: СЗПИ, 1977. – 81 с.
5. Сауляк, В. В. Складальні процеси в машинобудуванні [Текст]: навч. пос. / В. В. Сауляк. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 99 с.

6. Шабайкович, В. А. Проблемы складального виробництва [Текст] / В. А. Шабайкович // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 713. – С. 212–216.
7. Ванін, О. В. Сучасні підходи до проектування серійних автоматизованих складальних комплексів [Електронний ресурс] / О. В. Ванін // Матеріали 8 Міжнар. науково-практичної інтернет-конференції «Сучасність. Наука. Час. Взаємодія та взаємодія». – Київ, 2011. – Режим доступу: \www/URL: <http://intkonf.org/vanin-ov-suchasni-pidhodi-do-proektuvannya-seriyunih-avtomatizovanih-skladalnih-kompleksiv/>
8. Божидарнік, В. В. Автоматичне складання виробів [Текст]: навч. пос. / В. В. Божидарнік, Н. С. Григор'єва, В. А. Шабайкович. – Луцьк: Надсир'я, 2005. – 386 с.
9. Гриньова, В. М. Організація виробництва [Текст]: підруч. / В. М. Гриньова, М. М. Салуш. – К: Знання, 2009. – 582 с.
10. Воронин, А. В. Механізація і автоматизація зборки і машинобудування [Текст]: учеб. пос. / А. В. Воронин, А. И. Гречухин, А. С. Калашников и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 316 с.
11. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2006. – 392 с.
12. Божко, А. Н. Выбор рациональной последовательности сборки изделия [Электронный ресурс] / А. Н. Божко // Наука и образование: электрон. журн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2010. – № 7. – Режим доступа: \www/ URL: <http://technomag.edu.ru/doc/147483.html>. – 08.07.2015.
13. Тимофеев, Ю. В. Математическая модель управления точностью общей сборки агрегатных станков [Текст] / Ю. В. Тимофеев, Н. В. Захаров, А. А. Мельниченко // Вісник СумДУ. – 1994. – № 1. – С. 49–54.
14. Ташев, В. С. Синтез граф-схем алгоритмов выбора решений [Текст] / В. С. Ташев, М. П. Поварич. – Минск: Наука и техника, 1974. – 112 с.
15. Хаустова, А. В. Формализация проектных решений формирования структур объектов технологического проектирования [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Хаустова. – Луганск, 2000. – 197 с.
16. Базров, Б. М. Ритмичность – путь повышения эффективности изготовления деталей на станках-автоматах и автоматических линиях [Текст] / Б. М. Базров, А. П. Шалин. – М.: ВНИИ ТЭМР, 1987. – Вып. 2. – 48 с.
17. Конопличенко, С. В. Підвищення надійності роботи складальних систем шляхом оптимізації часових технологічних ланцюгів [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.02.08 / С. В. Конопличенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2001. – 20 с.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

Предложены математические модели, которые отражают связи базирования и размерные связи между сборочными элементами, учитывают ограничения доступа, конструкторско-технологические и экологические критерии сборочных процессов. С их использованием разработан метод синтеза рациональной последовательности сборки изделий, отличающийся тем, что при построении вариантов последовательности сборки учитываются комплекс технологических и экологических ограничений, что обеспечивает необходимое качество изделия и минимизирует длительность производственного цикла.

Ключевые слова: длительность производственного цикла, экологические ограничения, последовательность сборки, метод, алгоритм.

Чибиряк Яна Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерних наук (секція інформаційних технологій проектування), Сумський державний університет, Україна, e-mail: chibryana@i.ua.

Федотова Наталія Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра комп'ютерних наук (секція інформаційних технологій проектування), Сумський державний університет, Україна, e-mail: fna_2000@ukr.net.

Думанчук Михайло Юрійович, старший викладач, кафедра технічного сервісу, Сумський національний аграрний університет, Україна, e-mail: m_duman@i.ua.

Чибиряк Яна Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерних наук (секція інформаційних технологій проектування), Сумський державний університет, Україна.

Федотова Наталія Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший преподаватель, кафедра комп'ютерних наук (секція інформаційних технологій проектування), Сумський державний університет, Україна.

Думанчук Михайло Юрійович, старший преподаватель, кафедра технического сервиса, Сумский национальный аграрный университет, Украина.

Chibiryak Yana, Sumy State University, Ukraine, e-mail: chibryana@i.ua.

Fedotova Natalia, Sumy State University, Ukraine, e-mail: fna_2000@ukr.net.

Dumanchuk Mykhailo, Sumy National Agrarian University, Ukraine, e-mail: m_duman@i.ua.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Сучасні технології
у промисловому виробництві**

МАТЕРІАЛИ

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ВИКЛАДАЧІВ, СПІВРОБІТНИКІВ,
АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ
ФАКУЛЬТЕТУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
(Суми, 14–17 квітня 2015 року)**

ЧАСТИНА 1

Конференція присвячена Дню науки в Україні

Суми
Сумський державний університет
2015

СИНТЕЗ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ РЕДУКТОРА

Чибіряк Я. І., доцент; Ващенко С. М., ст. викладач; Марченко В. Ю., студент

Технічний прогрес у машинобудуванні пов'язаний не тільки з заміною застарілого обладнання з низьким рівнем механізації на більш прогресивне автоматизоване, але і з пошуком раціональних конструкцій виробів і раціональним плануванням виробничого процесу на стадії його підготовки. Особливої уваги потребує автоматизоване складальне виробництво. Аналіз показав відставання в розвитку складальних процесів від заготівельних та механообробних.

В роботі проведено огляд існуючих методів раціоналізації складальних процесів, виявлено їх недоліки і переваги. На основі даного аналізу розроблено метод синтезу раціональної послідовності складання, в якому, на відміну від існуючих, враховано розмірний аналіз, можливість одночасної установки кількох базованих деталей на базу, можливість паралельного складання, екологічні обмеження. Застосування розробленого методу на практиці дозволяє отримати раціональну по тривалості виробничого циклу послідовність складання.

При розробці послідовності складання редуктора було використано такі вихідні дані: схема технологічних обмежень, схема взаємозв'язку номеру операційного комплексу з номерами виконуваних з'єднань, схема базування, схема доступу. Для рішення задачі на ЕОМ дані схеми було представлено у вигляді матриць. На першому етапі в конструкції виробу виділяються базові складальні одиниці V_i , які визначають положення інших деталей у редукторі. Для виділених базових деталей V_i визначається набір базованих d_i^{li} , в результаті отримуємо набір множин $G_{V_i} = \{d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^{ki}\}$. Серед отриманих множин визначаються незалежні, тобто ті, що не мають спільних деталей. Незалежні множин $G_{V_i}^n = \{d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^{ki}\}$ представляють набір складальних одиниць, збирання яких може здійснюватися в будь-якій послідовності. Якщо відома структура виробничої системи, розглядається можливість паралельного складання виділених складальних одиниць, що призводить до скорочення виробничого циклу. Для цього використовують матрицю взаємозв'язку операційних комплексів. В іншому випадку проводиться їх ранжування з метою визначення порядку збирання. В основі ранжування покладено технологічні правила побудови раціональної послідовності складання: кількість установів в кожній складальній одиниці, точність з'єднань, кількість розмірних зв'язків, маса та габаритні розміри деталей, з'єднання, що є екологічно несприятливими. Порівняння існуючого варіанту складання редуктора з розробленим, дозволило виявити скорочення виробничого циклу на 5 умовних одиниць часу. За результатами роботи розроблено програму мовою Сі++, що реалізує метод в діалоговому режимі.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ЕКОНОМІКА, ТЕХНІКА, ОСВІТА '2015

19-20 листопада 2015 року

Київ, НУБіП України

Київ 2015

УДК 621.717

МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Я.І. Чибіряк, А.О. Крамар

Складання – заключний і визначальний етап виробничого процесу від якого у значній мірі залежить якість машин. Трудомісткість складання становить 25-60% від загальної трудомісткості виготовлення виробу. Постійне удосконалення і ускладнення конструкцій машин призводить до підвищення вимог до надійності та якості складальних робіт. Сучасний рівень автоматизації потребує залучення у складальне виробництво висококваліфікованих спеціалістів та використання засобів інформаційних технологій. Автоматизація проектування технологічних процесів складання підвищує продуктивність праці, технічний рівень і якість продукції.

На основі аналізу сучасної наукової проблематики в області структурного аналізу і раціонального синтезу процесів складання, у даній роботі передбачається рішення такої задачі: розробка ієрархічної системи математичного моделювання послідовності складання виробів.

Технологічне проектування складальних робіт поділяється на два взаємозалежних етапи: визначення послідовності складання елементів виробу та проектування робочого технологічного процесу складання.

Перший етап пов'язаний з рішенням таких задач [1]:

- вибір схеми базування елементів складальної одиниці (СО);
- вибір конструктивної схеми і складального пристрою;
- вибір схеми ув'язки оснащення;
- вибір можливих послідовностей установки елементів СО з урахуванням умов

базування і доступу в зону складання;

- вибір оптимальної послідовності установки елементів СО.

На другому етапі вирішуються наступні задачі [1]:

- вибір складу і послідовності виконання операцій з'єднання, механічної обробки, герметизації, контролю і т.д. при заданій послідовності установки елементів СО;
- вибір складу оснастки, інструменту, устаткування і допоміжних матеріалів;
- визначення складу і кваліфікації виконавців;
- розрахунок техніко-економічних показників і вибір оптимального варіанта технологічного процесу складання.

Синтез структури технологічного процесу здійснюється по табличним, сполучним і перестановочним моделям структури об'єкта [1]. Розрахунок техніко-економічних показників і інші розрахунки, пов'язані з вибором оптимальної структури, здійснюються по кількісним моделям. Всі моделі, що використовуються при синтезі структури об'єкта, являють собою єдину систему моделей, взаємопов'язаних через множину контурів об'єкта проектування [2].

Вихідною інформацією для побудови математичної моделі складання виробу є його креслення (схема) та технічні умови на його складання. Вихідною інформацією для визначення послідовності складання виробу є схема базування і доступу [3].

Для схеми базування і доступу розроблені правила складання з метою однозначності представлення даних. Схема базування - матриця $B[N][N]$, де N - кількість складальних елементів. Елемент матриці $B[i][j]=1$, коли j -й елемент має можливість з'єднання з i -м елементом і $B[i][j]=0$ у протилежному випадку. Схема доступу задається у

вигляді матриці $D[i][j]$, де N - кількість деталей. Елемент матриці $D[i][j]=1$, коли i -му елементу в складанні передуює j -й елемент і $D[i][j]=0$ у противному випадку.

Базові деталі задаються:

а) нульовими рядками: якщо нульовий рядок має одна базова деталь, то саме з неї починається складання; якщо нульові рядки мають декілька деталей, то складання їх може здійснюватися паралельно;

б) не нульовими рядками: $D[i][j]=1$ у тому випадку, якщо i -й базовій деталі передуює складання j -ї деталі, що у свою чергу також є базовою.

На всі інші деталі задається не більше двох обмежень.

Алгоритм рішення задачі складається з таких етапів:

1. Для визначення послідовності складання складних виробів, що мають велику кількість СО, виділяють вузлове складання. При реалізації вузлового складання визначають базові деталі, що задаються технологом. Розроблений алгоритм дозволяє виділити базові деталі автоматично, виходячи з побудованої схеми доступу.

2. Використовуючи схему базування обираються деталі, що базуються по обраним базовим.

3. Використовуючи схему доступу, визначають послідовність передування. Усі деталі, що базуються по визначеній базовій, приєднуються до цієї базової у певній послідовності, що задається схемою доступу.

4. Методом перебору і перестановки базовані деталі займають певні рівні стосовно базової деталі. На одному рівні може виявитися більше однієї деталі. Це свідчить про можливість паралельного складання. На першому рівні завжди буде знаходитись базова деталь.

5. Для перевірки отриманої послідовності складання виробу використовується схема базування. Схема базування на заключному етапі використовується для визначення можливих баз деталей і виведення послідовності складання деталей і СО з указівкою базування.

По розробленому алгоритму була створена програма мовою C++.

Розроблений ітераційний метод визначення послідовності складання виробів із застосуванням засобів обчислювальної техніки дозволив зменшити час проектування виробів, скоротити витрати на їхню розробку, підвищити якість застосовуваних рішень, що призвело до скорочення виробничого циклу, до зменшення суми оборотних коштів, прискорило їхню оборотність, знизило собівартість виробу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. САПР. Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении. Методические указания. - М, ГПС, 1985, 199с.

2. Чибіряк Я.І., Ващенко С.М., Алексенко О.В., Дерев'яничук А.Й. Підвищення ефективності складальних процесів у машинобудуванні // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2012. - №121. - С. 137-141.

3. Чибіряк Я.І., Федотова Н.А., Думанчук М.Ю. Формалізація задачі побудови раціональної послідовності складання виробів // Технологічний аудит та резерви виробництва. - 2015. - №24. - С. 49-54.



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

*Indexed in:
RSCI (PHII) SCIENCE INDEX
INDEX COPERNICUS*

SWORLD
Journal ISSN 2227-6920

Medicine, veterinary medicine and
pharmaceuticals

Issue №11
Volume 6
November 2016

Published by:
Scientific world, Ltd.

With the support of:

Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)
Odessa National Maritime University
Ukrainian National Academy of Railway Transport
State Research and Development Institute of the Merchant Marine of Ukraine (UkrNIMF)
Institute for Entrepreneurship and morehozyaystva
Lugansk State Medical University
Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education
Alecu Russo State University of Bălți
Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences
Odessa Research Institute of Communications

УДК 621.717

Чибиряк Я.И., Крамар А.А.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В
МАШИНОСТРОЕНИИ***Сумский государственный университет**Сумы, Римского-Корсакова 2, 40000*

Chibiryak Ya. I., Kramar A.A.

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF ASSEMBLY PROCESSES IN
MECHANICAL ENGINEERING***Sumy State University**Sumy, Rimskogo-Korsakova 2, 40000*

Аннотация. В работе рассматривается одна из глобальных задач машиностроения – разработка метода синтеза рациональных вариантов сборки изделий. Предложены математические модели, которые отражают ряд конструкторско-технологических и экологических факторов сборочных процессов.

Ключевые слова: сборка, математическая модель, производственный цикл, качество изделия.

Abstract. This work examines one of the global engineering task – the development of a method for the synthesis of rational assembly options. Mathematical models that reflect a number of design-engineering and environmental factors assembly processes are suggested.

Keywords: assembly, mathematical model, production cycle, quality.

Вступление.

Результат исследований различных этапов производства в машиностроении показал наличие неиспользуемых резервов оптимизации сборочных процессов.

Недостаточная методическая разработка вопросов синтеза рациональных вариантов технологических процессов за счет оптимизации последовательности сборки является существенным сдерживающим фактором использования рациональных технологических решений. Разработка и реализация последовательности сборки в настоящее время проводится, главным образом, на основе научно необоснованных решений. Отсутствие научно обоснованных инженерных методик проектирования процесса сборки является одной из причин субъективизма при конечном выборе последовательности сборки и оценки ее на рациональность.

Поэтому возникла необходимость в выявлении технологических закономерностей рационального синтеза последовательности сборки изделий, в разработке математических моделей изделия и производственной системы, которые учитывают конструкторско-технологические особенности сборочных процессов. Этим обосновывается актуальность данной работы.

Анализ литературных данных и постановка задачи.

Количество вариантов сборки тем больше, чем сложнее собираемое изделие, что и определяет сложность формализации данной задачи. Достаточным для представления многовариантного процесса сборки является получение условий базирования и доступа к месту установки каждой из присоединяемых деталей. В машиностроении под базированием понимается придание детали или сборочной единице требуемого положения относительно других деталей изделия. Такое положение достигается наложением геометрических и кинематических связей и характеризуется неизменностью соответствующего контакта сопрягаемых поверхностей [2]. Условие доступа ограничивает возможности установки детали или узла в сборочной последовательности тем, что задает недопустимые взаимосвязи их с установленными ранее элементами [1].

В работах [1,3] определение оптимальных вариантов последовательностей сборки осуществляется по стандартным алгоритмам решения транспортной задачи нахождения кратчайшего пути на сети методами линейного и

динамического программирования. При этом на линии связи сетевой модели (ребра графа) наносятся данные, характеризующие оптимизируемый показатель, например время сборки, себестоимость и др. Многовариантность сборки обуславливает сложность анализа сетевой модели. Сократить вычислительные процедуры позволяет метод динамического программирования. Поскольку в общем виде модель процесса сборки является детерминированной, решение приводит к неоднозначному результату.

Таким образом, в настоящее время, имеется опыт в решении задачи оптимизации технологических схем сборки изделий. Вместе с тем требуется дальнейшая работа по выявлению конструкторско-технологических закономерностей сборочных процессов, по разработке математических моделей и алгоритмов, позволяющих, с использованием системного подхода, учитывать размерные цепи, наличие базирования, доступа, экологические ограничения при синтезе рациональной последовательности сборки изделий.

Цель и задачи исследования.

Цель работы: разработка метода определения последовательности сборки изделий, обеспечивающего минимизацию длительности производственного цикла.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать математические модели, отражающие конструкторско-технологические и экологические закономерности сборочного производства.

Результаты исследований.

С целью решения данной задачи на ЭВМ разработаем математические модели, учитывающие комплекс ограничений. Информацию о связях базирования, задающих относительное положение сборочных элементов (СЭ) в изделии, представим в виде матрицы $B_{n \times n}$, где n - количество СЭ, вошедших в данную сборочную единицу (СЕ). Элемент матрицы :

$$B[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{й и } j - \text{й СЭ имеют основную связь базирования,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Элементы матрицы доступа $D_{n \times n}$, задающей порядок вхождения деталей в изделие, определим следующим образом:

$$D[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-му СЭ в сборке предшествует } j\text{-й СЭ,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Перед машиностроителями встают сегодня важные проблемы - создание экологически чистых процессов. Состояние окружающей среды меняется на протяжении сборочного процесса. Это оказывает влияние на качество изделий и на производительность труда. Поэтому экологически неблагоприятные сборочные операции необходимо выносить в конец технологического процесса с целью выполнения на отдельно оборудованных производственных участках.

Для учета экологически вредных операций используем матрицу экологических ограничений $E_{k \times k}$, где k – количество сборочных операций (СО) в изделии. Матрица строится следующим образом:

$$E[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я СО является экологически неблагоприятной,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Формализованное решение задачи определения рациональной последовательности сборки изделий имеет вид, представленный на рис.1. На этапе функционального моделирования и описания процессов была выбрана методология SADT на основе нотаций IDEF0. Для проектирования функционального моделирования была использована программа AllFusion Process Modeler.

Разработанный итерационный метод определения последовательности сборки изделий нашел свое применение на примере сборочной единицы - редуктор.

Для сравнительного расчета экономического эффекта приняты следующие технологические процессы: вариант I - ручной; вариант II - автоматической системы проектирования. Результаты расчета показаны на рис.2.

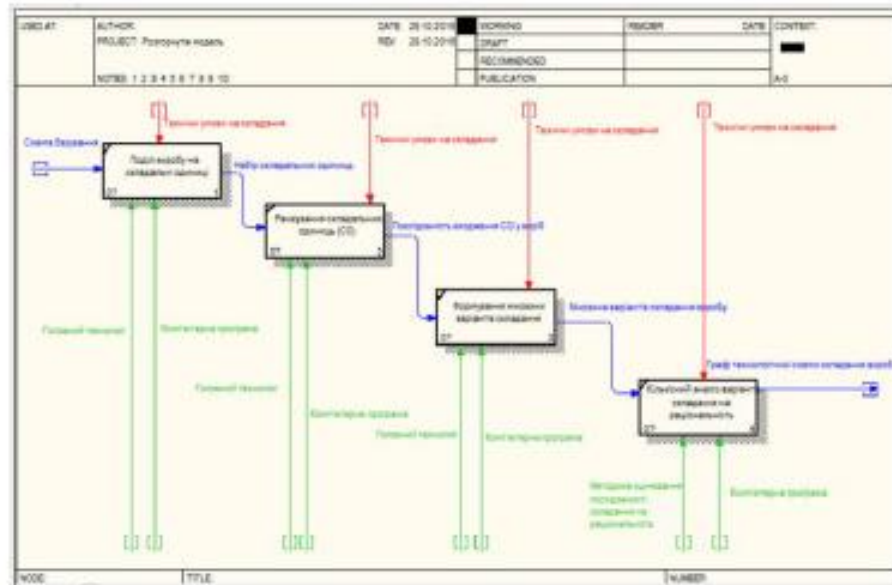


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции процесса построения рациональной последовательности сборки изделия

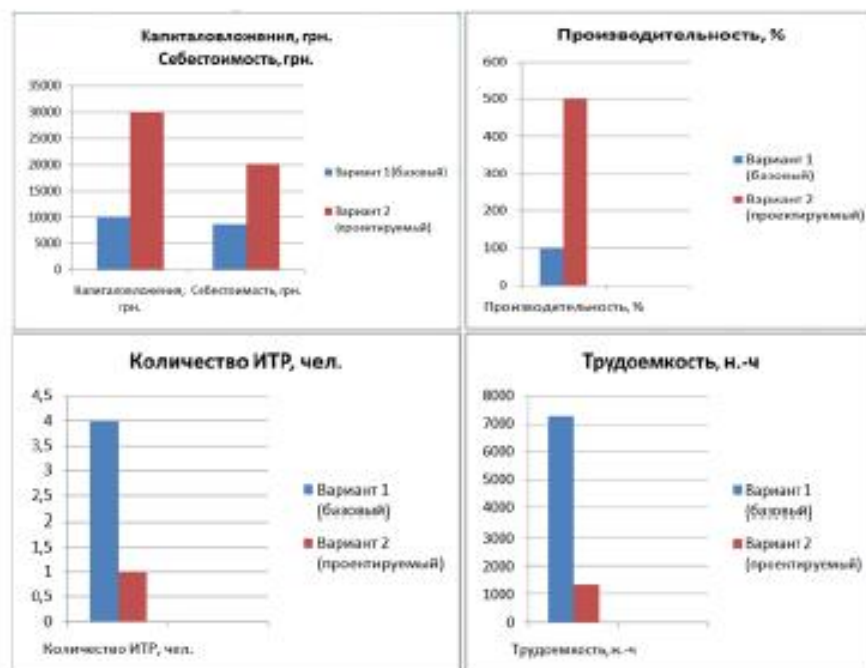


Рис. 2. Техничко-экономические показатели

Заклучение и выводы.

Учет конструкторско-технологических факторов при синтезе рациональной последовательности сборки, таких как: наличие базирования

между сборочными элементами, ограничений доступа одних деталей другими к месту установки, выделение узлов сборки, возможность одновременной установки нескольких деталей на базовую, экологических ограничений, позволяет не только сократить количество синтезируемых вариантов, но и повысить качество процесса сборки изделий.

Предложенные математические модели изделий с использованием теории матриц, обеспечивают их совместимость при решении задач анализа и синтеза технологических процессов сборки.

Разработанный на основе системного подхода итерационный метод с применением средств вычислительной техники позволил уменьшить время проектирования последовательности сборки изделий, сократить затраты на их разработку, повысить качество применяемых решений. Сокращение установок и позиций при сборке привело к сокращению производственного цикла, что, в конечном счете, уменьшило сумму оборотных средств, ускорило их оборотность, снизило себестоимость изделия.

Литература:

1. Невлюдов И.Ш. Логическая модель проектирования технологического процесса сборки // Вестн. Акад. инж. наук Украины. – 2007. – № 3 (33). - С. 95 - 99.
2. Гонсалес-Сабатер А. Построение математической модели для автоматизированного решения задач проектирования технологии сборки изделий машиностроения // Сборка в машиностроении, приборостроении. – М. : Машиностроение, 2002. – № 5, - С. 3 - 10.
3. Пасічник В.А. Урахування багатоваріантності схем складання на етапі розподілу операцій між обладнанням // Вісник ЖДТУ. – Житомир. : ЖДТУ, 2007. – № 1(40). - С. 51 - 56.

Статья отправлена: 13.12.2016 г.

© Чибирик Я.И., Крамар А.А.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

Серія: Технології в машинобудуванні

№ 33 (1205) 2016

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2016

УДК 621.717

Я. І. ЧИБІРЯК, Є. В. КОНОПЛЯЧЕНКО, В. В. НАГОРНИЙ

ІЄРАРХІЧНА СИСТЕМА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВІЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВІРОБІВ

У роботі розглянуто одна з глобальних задач машинобудування – розробка ієрархічної системи математичного моделювання автоматичного складання об'єктів. Пропонуються нові принципи побудови математичних моделей техпроцесів, викладені наукові висновки в цій області і подана послідовність автоматичного складання об'єктів, розроблена за допомогою ЕОМ.

Ключові слова: послідовність складання, математична модель, виробничий цикл, схема доступу, базова деталь, функціональне моделювання.

В работе рассмотрена одна из глобальных задач машиностроения - разработка иерархической системы математического моделирования автоматической сборки объектов. Предлагаются новые принципы построения математических моделей техпроцессов, изложены научные исследования в этой области и предложена последовательность автоматической сборки объектов, разработанная с помощью ЭВМ.

Ключевые слова: последовательность сборки, математическая модель, производственный цикл, схема доступа, базовая деталь, функциональное моделирование.

One of the main tasks of engineering industries are retooling of enterprises based on accelerating the introduction of scientific and technological progress. Assembly - the final and decisive stage of the production process, from which performance depends largely on the quality of machines. The complexity of assembly covers 25 ... 60% of the complexity of manufacturing products. Currently, about 25% mechanized and automated assembly is 6%. Continuous improvement and complexity of machine designs resulting in increased complexity, increased requirements for reliability and build quality. With the present level of automation should be involved in the assembly process a large number of highly qualified specialists. In this connection, automation assembly production dramatically increases productivity, technical level and quality of products and accelerates the solution of social problems. Low levels of assembly production can be explained as follows: perform assembly work requires high flexibility of technological equipment; no rational methodological basis for the creation of automated assembly systems, assembly not developed classification systems and principles of unification. If the scientific and technical literature some mechanization and automation of assembly operations, the issues related to classification and structure optimization of automated assembly technology systems, practically designed.

The paper considered one of the global problems of engineering - the development of a hierarchical system of mathematical modeling automated assembly facilities. Proposed new principles of construction of mathematical models of technical process set out scientific research in this field and given the sequence of automatic assembly of objects designed by computer.

Designed iterative method for determining the sequence assembly of products using computer technology allowed the design to reduce the sequence assembly of products, reduce the cost of their development, improve the quality of applied solutions. Reducing the institutions and positions in the preparation resulted in a reduction of the production cycle, which ultimately reduces the amount of working capital, accelerating their turnover, reduces the cost of the product.

Keywords: assembly sequence, mathematical model, production cycle, circuit access basic part, functional design.

Вступ. Одним з основних задач розвитку машинобудівних виробництв є технічне переозброєння підприємств на основі прискорення впровадження підприємств науково-технічного прогресу. Складання - заключний і визначальний етап виробничого процесу, від виконання якого в значній мірі залежить якість машин. Трудомісткість складання займає 25...60% від трудомісткості виготовлення виробів. В даний час механізовано близько 25%, а автоматизовано до 6% складальних робіт [1]. Постійне удосконалення і ускладнення конструкцій машин призводить до збільшення трудомісткості, підвищення вимог до надійності і якості складання. При сучасному рівні автоматизації необхідно залучати у складальне виробництво велику кількість висококваліфікованих спеціалістів. У цьому зв'язку автоматизація складального виробництва різко підвищує продуктивність праці, технічний рівень і якість продукції, що випускається, а також прискорює рішення соціальних проблем. Низький рівень розвитку складального виробництва можна пояснити таким чином: виконання складальних робіт потребує високої гнучкості засобів технологічного оснащення; відсутні методологічні основи створення раціональних автоматизованих складальних комплексів, не розроблені класифікації складальних систем і принципи їх уніфікації. Якщо в науково-технічній літературі зустрічаються окремі засоби механізації й автоматизації складальних операцій [2], то питання, пов'язані з класифікацією й

оптимізацією структур автоматизованих складальних технологічних систем, практично не розроблені.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Технологічне проектування складальних робіт поділяється на два взаємозалежних етапи:

- визначення послідовності складання елементів виробу;

- проектування робочого технологічного процесу складання.

На першому етапі, що ставиться одночасно і до проектування технологічного процесу і до оснащення складання вирішуються такі задачі [1]:

- вибір схеми базування елементів складальної одиниці;

- вибір конструктивної схеми і складального пристрою;

- вибір схеми ув'язки оснастки;

- вибір можливих послідовностей установки елементів складальної одиниці з урахуванням умов базування і доступу в зону складання;

- вибір оптимальної послідовності установки елементів складальної одиниці.

На другому етапі вирішуються наступні задачі [1]:

- вибір складу і послідовності виконання операцій з'єднання, механічної обробки, герметизації, контролю і т.д. при заданій послідовності установки елементів складальної одиниці;

© Я. І. Чибіряк, Є. В. Конопляченко, В. В. Нагорний, 2016

- вибір складу оснащення, інструменту, устаткування, допоміжних матеріалів;
- визначення складу і кваліфікації виконавців;
- розрахунок техніко-економічних показників і вибір оптимального варіанта технологічного процесу складання.

Синтез структури технологічного процесу здійснюється по табличним, сполучним і перестановочним моделям структури об'єкта [3]. Розрахунок техніко-економічних показників та інші розрахунки, пов'язані з вибором оптимальної структури, здійснюються по кількісним моделям [3, 4]. Всі моделі, що використовуються при синтезі структури об'єкта, являють собою єдину систему моделей, взаємопов'язаних через множини контурів об'єкта проектування.

Для побудови структурних моделей об'єкта проектування спочатку встановлюється склад властивостей (контурів), по яких можуть бути виділені елементи проектного об'єкта. Склад цих властивостей визначається, в першу чергу, цільовим призначенням об'єкта і функціями, що забезпечують виконання цільового призначення.

Далі виявляється природа відношень, що пов'язують елементи і їх контури (геометричні, кінематичні і т.п.) [3, 5]. На основі такого аналізу визначається можливий склад елементів проектного об'єкта і будується модель породжуючого середовища, в якій буде здійснюватися синтез цього об'єкта. Породжуюче середовище включає дані про предметну область, до якої належить об'єкт, про існуючі і розроблювані структурні моделі об'єкта, відомі або прогнозовані відношення і зв'язки між елементами і властивостями об'єкта та зовнішнього середовища. На базі цих даних створюється математична модель, що охоплює ту інформацію про породжуюче середовище, що може бути формалізована і подана засобами системи моделювання [3].

Математичною моделлю $S(A)$ об'єкта A в загальному випадку буде набір елементів:

$$S(A) = \{A, F, R\},$$

де A - множина елементів;

F - множина контурів;

R - множина відношень між елементами і контурами об'єкта A .

До складу контурів моделі входять, разом із властивостями елементів об'єкта, властивості, що характеризують взаємодію об'єкта з зовнішнім середовищем: $F_{вх}$ - вхідні дані; $F_{вих}$ - вихідні дані; $F_{упр}$ - управляючі впливи; $F_{зб}$ - збурюючі впливи.

Деякі елементи моделі $S(A)$ в певних випадках можуть бути подані в неявному вигляді або взагалі відсутні. У останньому випадку відсутній елемент моделі представляється як порожня множина.

Модель $S(A)$ породжуючого середовища служить для проектування об'єктів A_k із складом $A_k \subseteq A$ елементів. Одна модель $S(A)$ породжуючого середовища містить дані про множину $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ проектованих об'єктів.

Елементи реальної системи, будучи матеріальними об'єктами, володіють різнорідними, органічно взаємозалежними один з одним властивостями (зв'яз-

ками). Основними зв'язками є структурні і причинно-наслідкові зв'язки, а в залежності від природи впливів зовнішнього середовища - функціональні, дійсні, енергетичні, просторові і інформаційні [3].

Структурні зв'язки обумовлені відношеннями приналежності об'єктів, їх елементів і властивостей до визначених множин, відношеннями ієрархічної підпорядкованості, а також відношеннями інцидентності, суміжності і порядку.

Причинно-наслідкові зв'язки відображають послідовності зміни станів об'єкта з урахуванням стану інших, не обов'язково суміжних з ним об'єктів.

Функціональні зв'язки визначають взаємозв'язок між елементами і властивостями об'єкта, обумовлену виконуваними функціями на даному етапі життєвого циклу об'єкта. Всі функції і властивості об'єкта описуються через поняття контуру. На кількісному рівні контур F_i характеризується множиною параметрів, що мають визначені числові величини. На логічному рівні контур F_i визначається у вигляді логічної змінної $F_i = 1$ або $F_i = 0$. Якщо $F_i = 1$, то кажуть, що контур реалізований або існує.

Дійсні зв'язки обумовлені фізичними і хімічними властивостями і відношеннями між ними в процесі функціонування об'єкта, енергетичні зв'язки характеризують енергетичну сторону функціонування об'єкта. Просторовий взаємозв'язок елементів об'єкта характеризує їх взаємне розташування, наявність механічних зв'язків і характер можливих рухів один відносно одного, або відносно даної системи відліку. Інформаційні зв'язки відображають інформаційні аспекти функціонування об'єкта.

У залежності від наявності відношень суміжності і порядку між елементами проектного об'єкта, всі моделі розділяються на сполучні і впорядковані.

Сполучні моделі застосовуються в тих випадках, коли визначається тільки склад елементів проектного об'єкта. Впорядковані моделі поділяються на табличні, сітьові, перестановочні і застосовуються в тих випадках, коли визначається склад і структурні відношення між елементами проектного об'єкта. При цьому моделювання може здійснюватися на таких рівнях [6, 7]: теоретико-множинному (методами теорії множин і теорії графів) і логічному (методами математичної логіки).

Прагнення забезпечити зручність установки і базування деталей на позиціях складання призвело до того, що в складальному устаткуванні тепер достатньо рідкісними є випадки, коли передача складальної одиниці з позиції на позицію супроводжувалася б зміною її установки. Частіше всього положення базової деталі від початку до кінця залишається незмінним [1, 8]. На жаль, дотепер, при побудові схем складання виробів не проводилося досліджень, пов'язаних із зменшенням кількості установок і позицій [10]. Скорочення кількості установок і позицій призводить до зменшення виробничого циклу [1]. З розміром виробничого циклу пов'язана сума оборотних витрат (незавершене виробництво), їх оборотність, розміри виробничих площ і, у кінцевому рахунку, собівартість виробу. Крім того, виробничий цикл може виступати в якості самостійного тимчасового критерію оцінки організації виробничого процесу [1].

Тому важливо проектування таких схем складальних процесів, при яких виробничий цикл був би мінімальним.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є розробка ітеративного процесу послідовності складання виробів.

На основі аналізу сучасної наукової проблематики в області структурного аналізу і раціонального синтезу процесів складання, у даній роботі передбачається рішення таких задач:

- розробка ієрархічної системи математичного моделювання послідовності складання виробів;
- розробити алгоритмічне та програмне забезпечення на основі розробленого методу.

Результати досліджень. Вхідною інформацією для побудови математичної моделі визначення послідовності складання виробу є схема виробу і технічні умови на його складання.

Вхідною інформацією для визначення послідовності складання виробу (ПСВ) є схема базування і доступу.

Для схеми базування і доступу розроблені правила, по яким вони задаються, з метою однозначності представлення даних:

Схема базування - матриця $B[N][N]$, де N - кількість деталей. Елемент матриці $B[i][j]=1$, якщо i -й елемент має можливість з'єднання з j -тим елементом і $B[i][j]=0$ у протилежному випадку.

Схема доступу задається у вигляді матриці $D[N][N]$, де N - кількість деталей. Елемент матриці $D[i][j]=1$, якщо i -му елементу в складанні передує j -й елемент і $D[i][j]=0$ у протилежному випадку.

Базові деталі задаються:

- а) нульовими рядками в схемі доступу:
 - якщо нульовий рядок має одна база деталі, то саме з неї починається складання;
 - якщо нульові рядки мають кілька деталей, то складання їх може здійснюватися паралельно;

б) не нульовими рядками в схемі доступу:

$D[i][j]=1$ у тому випадку, коли i -й базової деталі передує складання j -ї деталі, що у свою чергу також є базовою.

На всі інші деталі задається не більше двох обмежень.

Алгоритм рішення задачі складається з наступних етапів:

1. Першим етапом при побудові ПСВ є визначення базових деталей, що задаються технологом у схемі доступу. Розроблений алгоритм дозволяє виділяти базові деталі автоматично. На даному етапі здійснюється поділ виробу на складальні одиниці, так названі підборки. Використовуючи схему базування, вибираємо деталі, що базуються по обраним базовим. На даному етапі здійснюється поділ виробу на складальні одиниці (СО).

2. Здійснюється процес ранжирування окремих СО з метою визначення послідовності їх входження у виріб. Використовується конструкторсько-технологічна інформація: маса, габаритні розміри базових деталей та ін.

3. За схемою доступу, визначаємо послідовність реалізації окремих СО. Усі деталі, що

базуються по визначеній базовій, приєднуються до неї у певній послідовності, що задається схемою доступу. Методом перебору і перестановки базовані деталі займають певні рівні стосовно базової деталі. На одному рівні може виявитися більше однієї деталі. Це говорить про можливість паралельного складання. На першому рівні завжди буде знаходитися база деталі. Схема базування на даному етапі використовується для визначення можливих баз деталей і виведення послідовності складання деталей і складальних одиниць з указівкою базування.

4. Оцінка отриманих варіантів схем складання на раціональність по тривалості виробничого циклу за коефіцієнтом структурного виду [1].

За розробленим методом було створено програмний продукт мовою C++ для визначення послідовності складання виробів.

Інформаційна система розробленого програмного продукту складається з 4 модулів (рис. 1), які взаємопов'язані між собою та послідовно поетапно виконують опрацювання вхідних даних.



Рис. 1 – Структура програмного модуля

На етапі функціонального моделювання та описання процесів було обрано методологію SADT на основі нотатій IDEF0 [9]. Основними особливостями використаної методології є акцент на ієрархічне представлення об'єктів, що спрощує розуміння предметної області та логічних зв'язків між процесами.

На рис. 2 представлено загальну функцію процесу побудови раціональної послідовності складання виробів в нотатії IDEF0.



Рис. 2 – Контекстна діаграма «Побудова раціональної послідовності складання виробу»

Для кращого розуміння функціональних вимог загальну функцію було деталізовано. Результат декомпозиції на взаємопов'язані функціональні блоки представлено на рис. 3.



Рис. 3 – Діаграма декомпозиції процесу побудови раціональної послідовності складання виробу

Для проектування функціонального моделювання було використано програму AllFusion Process Modeler.

Розроблений ітеративний метод визначення послідовності складання виробів знайшов своє застосування на прикладі складальної одиниці - редуктор.

Для порівняльного розрахунку економічного ефекту прийняті технологічні процеси: варіант I - ручної; варіант II - автоматичної системи проектування. Результати розрахунку показані на рис. 4.

Висновки. Розроблений ітеративний метод визначення послідовності складання виробів із застосуванням засобів обчислювальної техніки дозволив зменшити час проектування послідовності складання виробів, скоротити витрати на його розробку, підвищити якість застосовуваних рішень. Скорочення установів і позицій при складанні призвело до скорочення виробничого циклу; що, у кінцевому рахунку, зменшує суму оборотних коштів, прискорює його оборотність, зникає собівартість виробу.

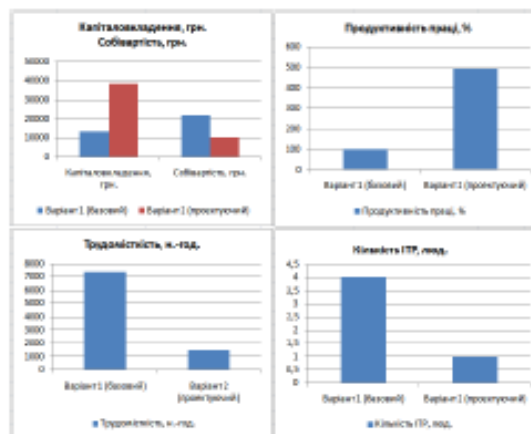


Рис. 4 – Техніко-економічні показники

Заміна монотонної важкої фізично, ручної праці автоматизовано дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати на виготовлення і підвищити якість виробів, поліпшити культуру праці.

Водночас, автоматизація складальних робіт потребує стабільної якості деталей і складальних одиниць, що надходить на складання. В даний час найчастіше помилки на стадії, що передують складанню, усунуваються на етапі складання за допомогою найпростіших інструментів слюсарями-

складальниками. Тому створення ефективних автоматизованих складальних систем потребує зміни якості праці в механобробі і заготівельному виробництві.

В умовах, коли в державі з'являються безробітні, на перший погляд може здатися, що автоматизація буде сприяти ще більшому звільненню людей із сфери виробництва. Разом з цим варто зауважити:

в даний час на більшості підприємств машино- і приладобудування спостерігається нестача висококваліфікованих спеціалістів;

як показує практика, при удосконаленні виробничих процесів, у тому числі при автоматизації, як правило, праця людини переходить у більш високу якість, залучаючи за нею творчу діяльність.

Список літератури

1. Захаров М. В. Розробка технологічних процесів складання / М. В. Захаров, Ю. В. Тимофеев. – К.: ІСДО, 1993. – 156 с.
2. Гонсалес-Сабатер А. Методические основы автоматизации решения задач проектирования технологии сборки / А. Гонсалес-Сабатер // Сборник в машиностроении, приборостроении. – М.: Машиностроение, 2002. – № 5. – С. 3-10.
3. САПР. Общие принципы разработки математических моделей объектов проектирования // Методические рекомендации. – М.: ВНИИГМАШ – 1980. – 120 с.
4. Казустин Н. М. Диалоговое проектирование технологических процессов / Н. М. Казустин, В. В. Павлов, Л. А. Козлов. – М.: Машиностроение, 1983. – 275 с.
5. Аверченко В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов / В. И. Аверченко, Ю. М. Казков. – Брянск: БГТУ. – 2004. – 228 с.
6. Губич Л. В. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий машиностроения / Л. В. Губич, И. В. Емельянович, Н. И. Пелюхин [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 286 с.
7. Цыцков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В. Д. Цыцков. – Минск: Наука и техника, 1980. – 224 с.
8. Нежелодов И. Ш. Информационное проектирование технологии роботизированной сборки / И. Ш. Нежелодов, А. М. Цыбал, С. С. Милоткин. – Х.: HTMT, 2010. – 207 с.
9. Menzil C. The IDEF Family of Languages / C. Menzil, R. J. Mayer // Handbook on Architectures for Information Systems. – Springer Science – Business Media, 1998. – P. 215-249.
10. Филиппенко И. В. Модели автоматизированного проектирования технологического процесса сборки / И. В. Филиппенко, В. В. Елсоев, С. С. Милоткин // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 1/2(21). – С. 4-8.

References (transliterated)

1. Zaharov M. V., Timofeev YU. V. *Rozrobka tekhnologicheskikh procesiv skladannya* [Development of technological processes assembly]. Kiev, ISDO, Publ., 1993. – 156 p.
2. Gonzalez-Sabater A. *Metodicheskie osnovy avtomatizatsii resheniya zadach proektirovaniya tekhnologii sborki* [Methodical bases of automation technology solutions assembly design problems]. *Sbornik v mashinostroyenii, priborostroyenii* [Assembling in mechanical engineering, instrument making]. Moscow, Mashinostroyenie Publ., 2002. no. 5, pp. 3-10.
3. SAPR. *Obshchie principy razrabotki matematicheskikh modelej ob'ektov proektirovaniya* [CAD. Sharing development principles mathematical models designing objects]. *Metodicheskie rekomendatsii* [Methodological Recommendations]. Moscow, VNIINMASH Publ., 1980. 120 p.
4. Kazustin N. M., Pavlov V. V., L. A. Kozlov *Dialogovoe proektirovanie tekhnologicheskikh processov* [Dialog design processes]. Moscow, Mashinostroyenie Publ., 1983. 275 p.
5. Averchenkov V. I., Kazakov YU. M. *Avtomatizatsiya proektirovaniya tekhnologicheskikh processov* [Design automation of technological processes]. Bryansk, BGUTU Publ., 2004. 228 p.
6. Gubich L. V., Emel'yanovich I. V. *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla izdelij mashinostroyeniya* [Information technology support lifecycle engineering products]. Minsk: Belarus. nauka Publ., 2010. 286 p.

7. Cvetkov V. D. *Sistemno-strukturnoe modelirovanie i avtomatizaciya proektirovaniya tekhnologicheskikh processov* [System-structural modeling and design automation of technological processes]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 224 p.
8. Nevlyudov I. SH., Cimbal A. M., Milyutina S. S. *Intellektual'noe proektirovanie tekhnologii robotizirovannoy sborki* [Intelligent design of robotic assembly technology]. Kharkov, NTMT, Publ., 2010. 207 p.
9. Menzel C., Mayer R. J. *Semejstvo yazykov IDEF* [The IDEF Family of Languages]. Handbook on Architectures for Information Systems [Spravochnik po arhitekturam dlya informacionnykh sistem]. Springer Science Publ., 1998, pp. 215-249.
10. Filippenko I. V., Evseev V. V., Milyutina S. S. *Modeli avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologicheskogo processa sborki* [Model-aided design of technological assembly process]. Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva [Model-aided design of technological assembly process]. Kharkov, 2015, no. 1/2(21), pp. 4-8.

Надійшла (received) 31.10.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Ієрархічна система математичного моделювання визначення послідовності складання виробів / Я. І. Чибіряк // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – № 33 (1205). – С. 122–126. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-004X.

Ієрархическая система математического моделирования определения последовательности сборки изделий / Я. И. Чибиряк // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – № 33 (1205). – С. 122–126. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-004X.

The hierarchical system of the mathematical modeling of the goods stowadge measurement / Y. I. Chibiryak // Bulletin of NTU "KhPT". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov: NTU "KhPT", 2016. – No. 33 (1205). – P.122–126. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-004X

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чибіряк Яна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Сумський державний університет, доцент кафедри комп'ютерних наук (секція інформаційних технологій проектування), тел.: (050) 770-02-15; e-mail: chibyana@i.ua;

Чибіряк Яна Іванівна – кандидат технических наук, доцент, Сумский государственный университет, доцент кафедры компьютерных наук (секция информационных технологий проектирования), тел.: (050) 770-02-15; e-mail: chibyana@i.ua;

Chibiryak Yana Ivanovna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Sumy State University, Associate Professor at the Department of Computer science (section Information Technologies of Design); tel.: (050) 770-02-15; e-mail: chibyana@i.ua;

Конюлянченко Євген Владиславович – кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, доцент кафедри технічного сервісу, тел.: (050) 750-25-65; e-mail: konopl_e@i.ua;

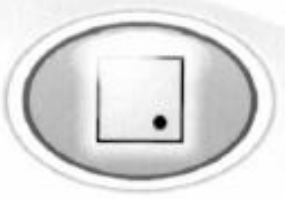
Конюлянченко Евгений Владиславович – кандидат технических наук, доцент, Сумский национальный аграрный университет, доцент кафедры технического сервиса, тел.: (050) 750-25-65; e-mail: konopl_e@i.ua;

Konoplanchenko Ievgen Vladyslavovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Sumy National Agrarian University, Associate Professor of the Department of Technical Service; tel.: (050) 760-25-65; e-mail: konopl_e@i.ua;

Нагорний Володимир Вячеславович – кандидат технічних наук, ст. викладач, Сумський державний університет, ст. викладач кафедри комп'ютерних наук (секція інформаційних технологій проектування), тел.: (050) 407-10-63; e-mail: vnagornyi1989@gmail.com;

Нагорный Владимир Вячеславович – кандидат технических наук, ст. преподаватель, Сумский государственный университет, ст. преподаватель кафедры компьютерных наук (секция информационных технологий проектирования), тел.: (050) 407-10-63; e-mail: vnagornyi1989@gmail.com;

Nagorniy Volodymyr Vyacheslavovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Lecturer, Sumy State University, Associate Professor at the Department of Computer science (section Information Technologies of Design); tel.: (050) 407-10-63; e-mail: vnagornyi1989@gmail.com.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАТИКА, МАТЕМАТИКА, АВТОМАТИКА

ІМА :: 2016

МАТЕРІАЛИ
та програма

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 18-22 квітня 2016 року)

Суми
Сумський державний університет
2016

Моделювання послідовності складання виробів машинобудування

Автори (Крамар А.О., студент; Чибіряк Я. І., *к.т.н. доцент*)
Сумський державний університет, Суми, Україна

Дослідження показали, що процес складання є найбільш трудомістким етапом виробництва та становить 40-60% від загальної тривалості виробничого циклу. На даному етапі закладається якість, конкурентоспроможність та собівартість виробу.

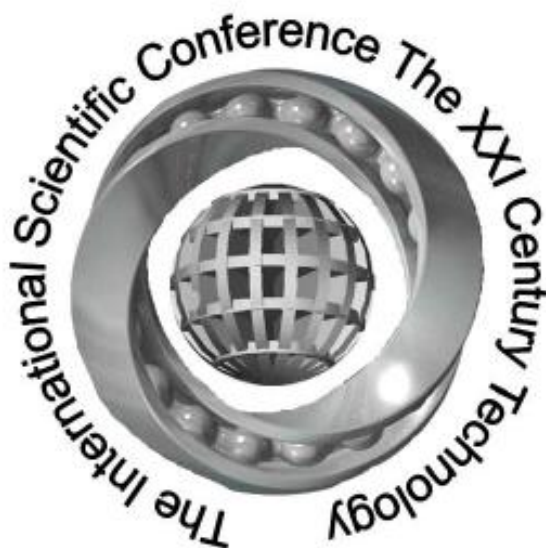
У результаті проведеної роботи виділено шляхи скорочення тривалості виробничого циклу при розробці послідовності складання виробів: одночасна установка кількох базованих деталей на базу; зменшення кількості *установів* і позицій; здійснення паралельної реалізації окремих складальних вузлів.

Сучасні конструкторські програми, такі як 3D-max, *Solid Worsk*, *Inventor* дозволяють виконати тривимірне моделювання *твердотільних* об'єктів (деталей, складальних одиниць), але не мають функцій проектування раціональної, по заданому критерію, послідовності складання з урахуванням конструкторсько-технологічних особливостей виробів. Також дані програми не дозволяють врахувати специфіку реалізації технологічних операцій складання, особливо таких, які чинять негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я працюючих людей – це ряд екологічно несприятливих складальних операцій, реалізація яких супроводжується використанням токсичних матеріалів, підвищенням шумом, вібрацією, температурами, радіацією.

В роботі здійснено розробку програмного забезпечення, яке надасть можливість автоматизувати процес проектування послідовності складання виробів машинобудування із врахуванням конструкторських, технологічних та екологічних особливостей виготовлення виробу. На етапі функціонального моделювання та описання процесів було обрано методологію IDEF0. Такий підхід дозволяє ієрархічно представити об'єкти процесу, що спрощує розуміння даної предметної області та логічних зв'язків між даними. Для проектування функціонального моделювання було використано програму *AllFusion Process Modeler*. Для реалізації програмного продукту обрано інтегровану систему *Visual Studio 2010* та мову програмування C#.

Сумский национальный аграрный университет
Национальный технический университет (ХПИ)
Политехника Свентокржинская в Кельцах (Польша)
ООО «ТРИЗ»

Научно-исследовательский институт системных исследований
Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. Петра Василенко
Украинская технологическая академия



ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

Сборник тезисов по материалам 22^й международной
научной конференции
(12-17 сентября 2016 г.)

Часть 1

Секции: «Прогрессивные технологии в сельском хозяйстве», «Прогрессивные технологии в строительстве», «Прогрессивные технологии в промышленности»

Сумы, Одесса – 2016

Чибіряк Я.І., Крамар А.О.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ПРИ РОЗРОБЦІ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Дослідження показали, що зниження трудомісткості і собівартості складальних операцій, підвищення якості виробів можна досягти шляхом удосконалення технологічних процесів складання. Але рішення даної задачі вимагає комплексного підходу шляхом врахування всіх складових виробничого процесу. Оскільки технологічним процесам властиві велика кількість елементів, складні і різноманітні зв'язки між ними, то традиційні методи аналізу не підходять для побудови моделей і опису таких характеристик, як функція, багаторівнева організація і структура властивостей складних об'єктів і процесів. Тому для подальшого розвитку теорії і методів проектування великого значення набуває розробка математичних моделей, що базуються на системному підході до проектування об'єктів виробництва і технологічних процесів.

В основі запропонованого методу синтезу раціональної послідовності складання лежать технологічні основи і закономірності виконання складального процесу. Їх комплексне врахування при розробці методу здійснюється за допомогою розроблених математичних моделей: схеми базування $B(n, n)$ (n – кількість СЕ), схеми доступу $D_s(k, k)$ (k – кількість складальних з'єднань), схеми розмірних зв'язків $R(n, n)$, таблиці характеристик складальних елементів (СЕ), матриці, що враховує точність виконання з'єднань $Soed(k, 2)$, матриці технологічних обмежень $T(p, p)$ (p – кількість операційних комплексів), що відображає набір та технологічні можливості операційних комплексів, їх взаємозв'язок і матриці екологічних обмежень $E(k, k)$ та правил їх застосування.

Передусім в конструкції виробу виділяються складальні елементи, що є базовими, оскільки вони є основою для розташування інших СЕ у виробі. Від вибору базових складальних елементів залежатиме маса, габаритні розміри, точність поверхонь, що з'єднуються, послідовність складання, засоби технологічного оснащення, що використовуються у виробничому процесі. На початковому етапі ми не можемо прослідкувати зміну усіх цих характеристик і раціонально вибрати базовий складальний елемент, тому масив початку розрахунків (МІР), що містить набір можливих базових елементів, формується з набору складальних елементів, які можуть виступати базовими в конструкції виробу. Базові СЕ братимуть участь в тих з'єднаннях, яким за схемою доступу не передують інші з'єднання. Для визначення набору базових СЕ, отримана група з'єднань розкодується з використанням схеми $Soed(k, 2)$. Після розкодування видаляються ті СЕ, що повторюються, і, з множини, що залишилася, формується МІР. Формалізоване рішення задачі містить наступні етапи:

Етап 1. Формування масиву початку розрахунків.

Етап 2. Поділ виробу на складальні одиниці (СО). Виділення груп зв'язних підграфів.

Етап 3. Визначення послідовності входження СО у виріб.

Етап 4. Визначення послідовності складання СЕ в кожній зв'язній групі.

Етап 5. Формування груп вершин по вертикалі.

Етап 6. Ранжирування груп вершин по вертикалі.

Етап 7. Формування множини раціональних варіантів послідовностей складання.

Етап 8. Аналіз можливості практичної реалізації раціональних варіантів послідовностей складання.

Етап 9. Формування підмножини раціональних по тривалості виробничого циклу варіантів складання виробу.

Запропоновано метод синтезу раціональної послідовності складання виробу. Виконані, на основі системного підходу, дослідження дозволили розробити математичні моделі, які враховують комплекс конструкторсько-технологічних основ і закономірностей виконання складального процесу.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ІНФОРМАТИКА, МАТЕМАТИКА, АВТОМАТИКА

ІМА :: 2017

МАТЕРІАЛИ
та програма

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 17-21 квітня 2017 року)

Суми,
Сумський державний університет
2017

Формалізація даних про складальний виріб шляхом аналізу його 3D моделі

Чибіряк Я. І., *доцент*; Науменко Ю. В., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми

Сучасне виробництво потребує широкого застосування методів інформаційних технологій. Їх використання засновано на побудові математичних моделей об'єктів виробництва. Особливо великого значення набуває моделювання при рішенні таких задач, як дослідження технічних об'єктів та процесів, аналіз структури складних систем, автоматизація процесів проектування.



Автоматизація проектування технологічних процесів складання передбачає наявність відповідних математичних моделей, розробка яких потребує визначення таких властивостей конструкції виробу, які впливають на послідовність його складання.

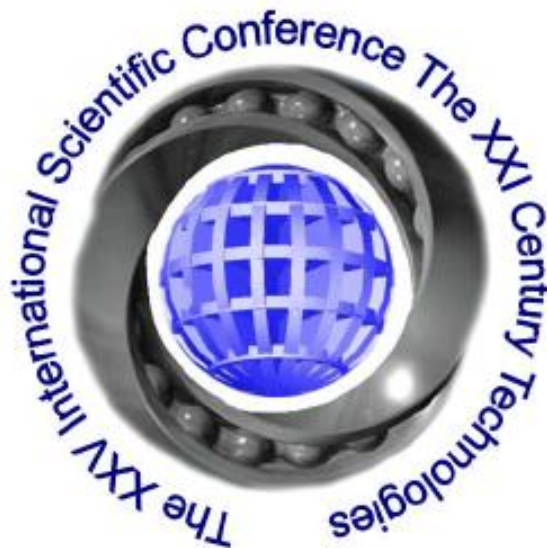
Математичні моделі, що будуть використані у якості вхідних даних при рішенні задачі синтезу послідовності складання виробу є такими: схема базування, доступу, з'єднань, розмірних зв'язків та екологічних обмежень.

Побудова математичних моделей буде виконуватись автоматизовано за допомогою програмного продукту, розробленого мовою C++. Програма здійснюватиме формалізоване виявлення структурних елементів виробу шляхом аналізу 3D-моделі його складального креслення, виконаного в середовищі проектування 3D Max, побудову необхідних схем і запис їх до окремого файлу.

Математично результат роботи програми буде представлений у вигляді матриць, що передбачає зручне їх збереження в пам'яті ЕОМ і подальше використання. Кількість альтернативних варіантів складання виробу зростає із збільшенням кількості складальних елементів. Використання побудованих матриць, що відображають конструкторсько-технологічні ознаки виробу дозволить скоротити діапазон пошуку практично варіантів складання, що реалізуються.

1. В.Н. Кореньков, В.А. Пасечник, А.А. Субин, *Автоматизированный синтез множества технологически целесообразных последовательностей сборки изделий машиностроения* (Вісник Хмельницького національного університету: №1, 2010).

-  Сумський національний аграрний університет
-  Національний технічний університет «КПІ»
-  Політехніка Свентокржинська в Кельцах (Польща)
-  ТОВ «ТРІЗ»
-  Сумський державний університет
-  Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка
-  Українська технологічна академія



ТЕХНОЛОГІЇ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Збірник тез за матеріалами 25^{ої} міжнародної науково-практичної конференції
(15-20 вересня 2019 р.)

Частина 1

Секції: «Прогресивні технології в сільському господарстві»,
«Прогресивні технології в харчовій промисловості»,
«Прогресивні технології в екології та енергоефективність»,
«Прогресивні технології в промисловості»

Суми, Одеса – 2019

УДК 621.757

Чибіряк Я.І., к.т.н, доц., СумДУ, м. Суми, Україна

ПОБУДОВА РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

В основі методу синтезу раціональної послідовності складання лежать технологічні основи і закономірності виконання складальних процесів. Їх врахування при розробці даного методу проводиться за допомогою розроблених математичних моделей [1]: схеми базування $B(n, n)$, схеми доступу $D_s(k, k)$, схеми розмірних зв'язків $R(n, n)$, таблиці характеристик складальних елементів (СЕ), матриці, що враховує точність виконання складальних з'єднань, $Soed(k, 2)$, матриці технологічних обмежень, що відображає набір технологічних можливостей операційних комплексів та їх взаємозв'язок і матриці екологічних обмежень $E(k, k)$, а також правил їх застосування.

Перш за все в конструкції виробу необхідно виділити складальні елементи, які є базовими, оскільки вони є основою для розташування інших СЕ в складальних одиницях. Від вибору базових складальних компонентів залежить маса, габаритні розміри, точність поверхонь, що з'єднуються, послідовність складання, застосування засобів технологічного оснащення. На початковому етапі не можливо простежити зміну всіх цих характеристик і раціонально вибрати базовий складальний компонент, тому масив початку розрахунків (МІР), що містить набір можливих базових елементів, будемо формувати із множини таких складальних елементів, які за своїми характеристиками можуть виступати в якості базових у конструкції виробу. Базові СЕ братимуть участь у тих з'єднаннях, яким за схемою доступу не передують інші з'єднання в конструкції виробу. Для отримання набору базових СЕ, отримана група з'єднань розкодується з використанням схеми $D_s(k, k)$. Після розкодування видаляються СЕ, що повторюються та з множини, що залишилася, формується МІР. Формалізоване рішення задачі має такий вигляд.

Етап 1. Формування масиву початку розрахунків.

1. З матриці доступу $D_s(k, k)$, вибираються номери з'єднань, що відповідають нульовим рядкам.
2. Отримані з'єднання розкодовуються.
3. Віддаляються складальні елементи, що повторюються.

Для кожного базового СЕ, що потрапив до МІР, з використанням матриці $B(n, n)$, вибираються базові СЕ. У результаті утворюється набір під графів G_{b_i} ($i = 1 \div b$), кількість яких b рівна кількості базових СЕ з яких сформований МІР.

Серед отриманого набору підграфів здійснюється пошук залежних підграфів, що мають спільні СЕ, і утворюються зв'язні групи підграфів. Якщо відома структура складальної виробничої системи, на цьому етапі необхідно розглянути можливість паралельного складання груп деталей, що увійшли до не зв'язних між собою груп, оскільки це призводить до скорочення тривалості виробничого циклу ($T_{ц}$).

Етап 2. Поділ конструкції виробу на максимальну кількість складальних одиниць.

1. Формування множини підграфів G_{b_i} ($i = 1 \div b$) графа базування.
2. Поділ множини підграфів на групи зв'язних підграфів.

Етап 3. Визначення послідовності реалізації підграфів в кожній зв'язній групі.

Крок 1. Ранжування за ступенем зв'язності підграфів. Чим більшим є ступінь зв'язності підграфів, тим меншим є значення рангу підграфа.

Ступінь зв'язності підграфів визначається за формулою [2]:

$$C_{\text{св},i} = \sum_{j=1}^{n_i} (k_j - 1),$$

де $C_{\text{св},i}$ – ступінь зв'язності i -го підграфа;

n_i – кількість вершин в i -му підграфі;

k_j – кількість підграфів, в які увійшла j -а вершина.

Якщо після 1-го кроку ранжирування виявлено підграфи однакових рангів, проводиться 2-й крок ранжирування.

Крок 2. Ранжування за кількістю СЕ, які увійшли до складу підграфа. Найвність більшої кількості СЕ відповідає меншому рангу.

Якщо після 2-го кроку ранжирування є підграфи однакових рангів, проводиться 3-й крок ранжирування.

Крок 3. Ранжування за кількістю розмірних зв'язків між СЕ (використовується матриця розмірних зв'язків $R(n,n)$). Чим більша кількість розмірних зв'язків у підграфі, тим меншим є його ранг.

Якщо після 3-го кроку ранжирування залишилися підграфи однакових рангів, проводиться наступний крок ранжирування.

Крок 4. Ранжування за масою СЕ, що знаходяться в корені підграфів. Чим більша маса кореневої вершини, тим менший ранг підграфа (використовується Тав (п, 4)[1]).

Якщо після 4-го кроку ранжирування є підграфи однакових рангів проводиться 5-й крок ранжирування.

Крок 5. Ранжування за габаритними розмірами кореневої вершини. Більший габаритний розмір СЕ кореневої вершини відповідає меншому рангу підграфа.

Якщо після 5-го кроку ранжирування залишилися підграфи однакових рангів, то їх складання проводиться у будь-якій послідовності. З метою скорочення тривалості циклу складання необхідно розглядати можливість паралельного складання підграфів однакових рангів. Для визначення такої можливості використовується матриця технологічних обмежень у вигляді взаємозв'язку операційних комплексів.

Після виконання ранжирування позначення підграфів набуде вигляду $G_{R_j}^{m_j}$, де g_j – порядковий номер підграфа в j -й зв'язній групі ($j = 1 \div s$); m_j – ранг підграфа в j -й зв'язній групі ($m_j = 1 \div r_j$); s – кількість зв'язних груп; r_j – кількість рангів в j -й зв'язній групі. Складання підграфів проводиться в порядку зростання рангів - від 1-го до r_j – го рангу включно.

Дане ранжування було проведено з урахуванням основних технологічних правил побудови раціональних технологічних процесів складання.

Таким чином, в результаті проведення ранжирування встановлюється раціональний, по тривалості виробничого циклу, порядок входження складальних одиниць у виріб. На наступному етапі необхідно визначити послідовність складання складальних компонентів, які увійшли до складу окремих складальних одиниць.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Чибіряк Я.І. Формалізація задачі побудови раціональної послідовності складання виробів / Чибіряк Я. І., Федотова Н. А., Думанчук М. Ю. // Технологический аудит и резервы производства. - №4/2(24). – 2015.-С.49-54.
2. Коноплянченко Є.В. Рациональное построение технологических сборочных систем / Коноплянченко Є.В., Радчук О.В., Чибіряк Я.І. // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем.– Краматорск: ДГМА.-1999.-С.154-160.

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО**

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ



Відповідальний редактор – професор д.ф.-м.н., Пастернак Я.М.

№39 2020

*м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету*

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2020-39-19

УДК: 62-503.56:621.717

Чибиряк Яна Івановна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-0634-7609>

Сумської державний університет, г. Суми, Україна

Конопляченко Євгеній Владиславович, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0003-4814-1796>

Сумської національний аграрний університет, г. Суми, Україна

Марченко Анна Вікторівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2003-3531>

Сумської державний університет, г. Суми, Україна

ТЕХНОЛОГІЧЕСЬКІ ЗАКОНОМІРНОСТІ І МАТЕМАТИЧЕСЬКІ МОДЕЛІ СИНТЕЗА РАЦІОНАЛЬНОЇ ПОСЛІДОВАТЕЛЬНОСТІ СБОРКИ ІЗДЕЛІЙ

Чибиряк Я. І., Конопляченко Є. В., Марченко А. В. Технологіческие закономерности в математические модели синтеза рациональной последовательности сборки изделий. В данной статье на основе анализа иерархического строения изделия и технологии выполнения сборочных работ установлено, что деление изделий на сборочные единицы приводит к сокращению длительности цикла изготовления за счет параллельного выполнения сборочных операций. Установлено, что в условиях конкретного производства на этапе конструкторской подготовки целесообразно выявлять скрытые резервы по сокращению длительности сборочных процессов. В работе выведены зависимости, позволяющие оценить количество возможных вариантов сборки для технологических схем различных структурных видов: последовательного, минимально-параллельного и максимально-параллельного. Предложенные математические модели в виде матрицы базирования, доступа, размерных связей содержат информацию о конструкторских особенностях изделия и в неявном виде задают последовательность выполнения сборочных операций. Использование разработанного алгоритма решения задачи, с учетом матричного описания исходных данных, позволяет ограничить перебор возможных вариантов сборки изделия, повысить качество технологического проектирования за счет снижения вычислительных затрат и сокращения времени поиска последовательности сборки, минимальной по длительности производственного цикла.

Ключевые слова: длительность цикла сборки, матрица базирования, матрица доступа, структура изделия, последовательность сборки.

Чибиряк Я. І., Конопляченко Є. В., Марченко А. В. Технологічні закономірності і математичні моделі синтезу раціональної послідовності складання виробів. У даній статті на основі аналізу ієрархічної будови виробу і технології виконання складальних робіт встановлено, що поділ виробів на складальні одиниці призводить до скорочення тривалості циклу виготовлення за рахунок паралельного виконання складальних операцій. Встановлено, що в умовах конкретного виробництва на етапі конструкторської підготовки доцільно виявляти приховані резерви по скороченню тривалості складальних процесів. У роботі виведені залежності, що дозволяють оцінити кількість можливих варіантів складання для технологічних схем різних структурних видів: послідовного, мінімально-паралельного і максимально-паралельного. Запропоновані математичні моделі у вигляді матриці базування, доступу, розмірних зв'язків містять інформацію про конструкторські особливості виробу і в неявному вигляді задають послідовність виконання складальних операцій. Використання розробленого алгоритму розв'язання задачі, з урахуванням матричного опису вхідних даних, дозволяє обмежити перебір можливих варіантів складання виробу, підвищити якість технологічного проектування за рахунок зниження обчислювальних витрат і скорочення часу пошуку послідовності складання, мінімальної по тривалості виробничого циклу.

Ключові слова: тривалість циклу складання, матриця базування, матриця доступу, структура виробу, послідовність складання.

Chybiriak Ya. I., Konoplianchenko Ye. V., Marchenko A. V. Technological patterns and mathematical models of the synthesis of a rational sequence of product assembly. Based on the analysis of the product hierarchical structure and the assembling technology, it was defined that dividing the products into assembly units leads to a reduction in the length of manufacturing cycle through parallel execution of assembly operations. It was determined that in the conditions of a specific production it is advisable to identify hidden reserves aimed at reduction of assembly duration at the stage of constructional design. This article presents dependencies, which allow estimating the number of possible assembly options for technological schemes of various structural types: sequential, minimum-parallel, and maximum-parallel. Suggested mathematical models in the form of locating matrix, access matrix, and matrix of dimensional relationships contain information about the product design and implicitly specify the assembly sequence. Taking into account matrix description of the source data, developed solution algorithm allows limiting possible assembly options for the product, improve the quality of technological design through reduction of computational costs and seek time needed for the assembly sequence (with the minimum duration of the production cycle).

Keywords: assembly cycle duration, locating matrix, access matrix, product structure, assembly sequence.

Постановка наукової проблеми. Переход к современным формам организации производств и необходимость выпуска конкурентоспособной продукции требует поиска новых закономерностей выполнения технологий, учитывающих как конструкторско-технологические свойства изделия, так и свойства технологического оснащения. Заключительным этапом производственного процесса в машиностроении является сборка, поэтому качество готовых изделий во многом зависит от ее технологии. Основой для развития технологических процессов сборки являются технологические схемы сборки (ТСС). ТСС являются связующим звеном между структурой производственной системы и

изделием, так как с одной стороны они отражают вид сборки изделия по последовательности, а с другой – структуру сборочной системы. ТСС для одного и того же изделия можно составлять в нескольких вариантах. Но во всех случаях при сборке необходимо стремиться к минимизации трудоемкости, себестоимости, длительности производственного цикла. В статье решается задача синтеза рациональной по длительности производственного цикла последовательности сборки изделий.

Зависимости, приведенные в работе [1, 2] позволяют установить, что с уменьшением длительности производства продукции возрастает производительность работы, уменьшается себестоимость готовых изделий, ускоряется оборот средств, вложенных в предприятие. Следовательно, проектирование такой последовательности сборки, которая приводит к сокращению производственного цикла по времени, является актуальной задачей. Построение рациональной последовательности сборки является конструкторско-технологической задачей. Эффективность ее решения зависит от использования компьютерных технологий и требует формализованного математического описания для разработки соответствующего алгоритмического и программного обеспечения.

Анализ исследований. Рассмотрим некоторые примеры совершенствования сборочных процессов. В статье [3] предложены алгебраические модели, которые можно использовать для выбора рациональных проектных решений на подготовительном этапе сборочного производства. Структура изделия описана в виде гиперграфа, который используется для генерации различных вариантов сборки изделия. Однако разработанный метод не учитывает точностные характеристики изготовления деталей, кроме того, многовариантность сборки для многокомпонентных деталей обуславливает сложность анализа сетевой модели графа. В работе [4] сборочный процесс описан в виде целевой задачи оптимизации и предложен алгоритм ее решения, разработанный с использованием эволюционного подхода на основе метода нечеткой оценки Парето. Данный метод построения порядка сборки не учитывает размеры и массу деталей, осуществляет перебор всех возможных вариантов, требуя для своей реализации больших объем компьютерной памяти и вычислительных мощностей. Общая идея метода, представленного в работе [5] состоит в использовании средств имитационного моделирования для подготовки опорных точек локальной траектории движения деталей в САПР и последующей передаче их в систему управления сборочного роботизированного комплекса. В статье [6] представлены возможности интеллектуального процесса сборки, с использованием специальных инструментов дополненной реальности, в сочетании с логическими процедурами автоматизированного проектирования и планирования. Сборочный процесс реализован в виртуальной среде, где инженеры и конструкторы могут отслеживать точное положение, ориентацию отдельного сборочного элемента, видеть процесс перемещения элементов сборки в соответствии с его траекторией. Это позволяет предотвращать возможные ошибки в ходе технологического процесса.

Исследования показывают, что в настоящее время накоплен определенный опыт в решении задач оптимизации сборочных процессов. При этом не достаточно внимания уделяется сокращению длительности производственного цикла и определению резервов по его сокращению, исходя из возможностей конструкторско-технологических характеристик изделия. Поэтому требуется дальнейшая работа по выявлению закономерностей между длительностью цикла сборки и структурой изделия.

Изложение основного материала и обоснование полученных результатов исследований.

Структуру изделия можно представить графически, выполнив деление на отдельные сборочные единицы (СЕ) и детали. После 1-го этапа деления получим множество СЕ и деталей 1-го порядка. Продолжая деление, получаем сборочные элементы 2-го, 3-го, ..., n-го порядка. На n-м уровне иерархии находятся неделимые элементы – детали. Таким образом, граф, представленный на рис. 1 отображает структуру изделия. Корень графа обозначает собранное изделие, вершины – отдельные сборочные элементы, количество которых возрастет, а состав упрощается с увеличением уровня иерархии.

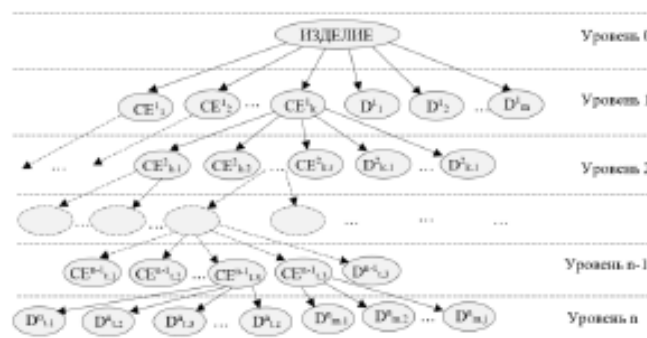


Рис. 1. Ієрархічна структура изделия

Анализ полученной иєрархічної структури изделия и технології сборочных работ позволяет установить следующее:

– СЕ-цпы, находящиеся на одном уровне иєрархии не связаны между собой наличием общих поверхностей базирования, поэтому процесс их сборки может быть реализован в любой последовательности;

– деление изделий на отдельные, независимые СЕ-цпы дает возможность среди множества сборочных операций определить те, которые могут выполняться одновременно;

– последовательность сборки СЕ-ц, которые находятся на различных уровнях иєрархии и связаны наличием общих базовых поверхностей, определяется порядком вхождения этих СЕ-ц в конструкцию изделия;

– СЕ-ца является составной частью изделия и обладает всеми свойствами его конструкции, поэтому технологические закономерности построения рациональной сборки, выявленные для отдельной СЕ-цы, могут быть применены для изделия в целом.

Последовательность сборки изделия отображается его технологической схемой (ТС). Для одного изделия можно построить несколько вариантов ТС, при этом изменению подлежат такие важные показатели как длительность производственного цикла, масса и габаритные размеры СЕ-ц, точность выполнения сборочных операций, надежность изделия.

Существует три вида структур ТС [1]: последовательный, минимально-параллельный и максимально-параллельный.

Рисунок 1 отображает существующие структурные виды ТСС для изделия, состоящего из 8 деталей. Для представленных схем наблюдается различные значения длительности сборки:

– $T_{\text{пос.}} = 7$ усл. ед. времени, для последовательного структурного вида;

– $T_{\text{мин.-п.}} = 4$ усл. ед. времени, для минимально-параллельного вида;

– $T_{\text{макс.-п.}} = 3$ усл. ед. времени, для максимально-параллельного вида.

Таким образом, $T_{\text{пос.}} > T_{\text{мин.-п.}} > T_{\text{макс.-п.}}$.

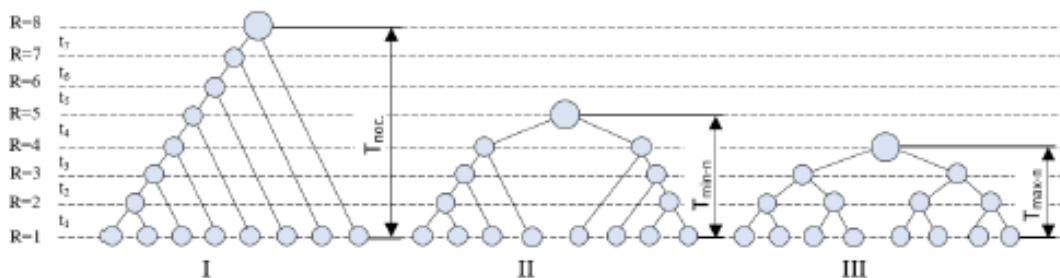


Рис. 2. Графы ТС сборки для изделия из 8 деталей: I – последовательный вид; II – минимально-параллельный вид; III – максимально-параллельный вид

Последовательность и длительность сборки, а также количество выполняемых сборочных операций зависит от структуры изделия. Учет этой зависимости позволяет выявлять скрытые резервы по сокращению длительности сборки. Поэтому, в условиях конкретного производства, на этапе конструкторской подготовки, целесообразно изменять конструкцию изделия с целью использования выявленного резерва.

Определим количество возможных вариантов сборки для различных структурных видов ТС: последовательного, минимально-параллельного и максимально-параллельного. С использованием численного моделирования получены зависимости, отражающие количество возможных вариантов сборки для изделия, состоящего из N деталей.

В таблице 1 показана зависимость возможных вариантов сборки изделия от количества деталей N для различных уровней графа последовательной структуры (рис. 1).

Обобщая результаты, приведенные в таблице 1, получена общая зависимость, связывающая количество деталей в изделии и количество вариантов сборки для технологической схемы последовательного структурного вида:

$$V_{\text{т.п.}} = \frac{1}{2^{(N-1)}} N(N-1)^2(N-2)^2(N-3)^2 \cdot \dots \cdot 2^2 \cdot 1 = \frac{1}{2^{(N-1)}} N!(N-1)! \quad (1)$$

Граф мінімально-паралельного структурного виду (рис. 1) має більш складну структуру: на кожному наступному рівні R графа, кількість вершин зменшується на два по порівнянню з попереднім $(R-1)$ -м рівнем.

Таблиця 1. Кількість варіантів збірки изделия для ТС послідовального структурного виду

Уровень графа	Кількість варіантів збірки
$R = N - 1$	$C_{N-(R-1)}^2 = \frac{1}{2}(N - (R - 1))(N - R) = \frac{1}{2}(2 \cdot 1)$
$R = N - 2$	$C_{N-(R-1)}^2 = \frac{1}{2}(N - (R - 1))(N - R) = \frac{1}{2}(3 \cdot 2)$
...	...
$R = 3$	$C_{N-2}^2 = \frac{1}{2}(N - 2)(N - 3)$
$R = 2$	$C_{N-1}^2 = \frac{1}{2}(N - 1)(N - 2)$
$R = 1$	$C_N^2 = \frac{1}{2}N(N - 1)$

Учитывая это, в таблицах 2,3 показаны зависимости возможных вариантов сборки для ТС минимально-параллельной структуры.

Таблиця 2. Кількість варіантів збірки изделия для ТС мінімально-параллельного структурного виду

Уровень графа	Кількість варіантів збірки	Уровень графа	Кількість варіантів збірки
$N - \text{парное, } N \geq 4$		$(N - \text{не парное, } N \geq 5)$	
$R = \frac{N}{2} - 1$	$\left(\frac{N}{2} - (R - 2)\right) \left(C_{\frac{N}{2} - (R-1)}^2\right)^2$	$R = \frac{(N-1)}{2}$	$C_{\frac{N+1}{2} - (R-1)}^2 \cdot C_{\frac{N-1}{2} - (R-1)}^2$
$R = \frac{N}{2} - 2$	$\left(\frac{N}{2} - (R - 2)\right) \left(C_{\frac{N}{2} - (R-1)}^2\right)^2$	$R = \frac{(N-1)}{2} - 1$	$C_{\frac{N+1}{2} - (R-1)}^2 \cdot C_{\frac{N-1}{2} - (R-1)}^2$
...
$R = 3$	$\left(\frac{N}{2} - 1\right) \left(C_{\frac{N}{2} - 2}^2\right)^2$	$R = 3$	$C_{\frac{N+1}{2} - 2}^2 \cdot C_{\frac{N-1}{2} - 2}^2$
$R = 2$	$\left(\frac{N}{2}\right) \left(C_{\frac{N}{2} - 1}^2\right)^2$	$R = 2$	$C_{\frac{N+1}{2} - 1}^2 \cdot C_{\frac{N-1}{2} - 1}^2$
$R = 1$	$\left(1 + \frac{N}{2}\right) \left(C_{\frac{N}{2}}^2\right)^2$	$R = 1$	$C_{\frac{N+1}{2}}^2 \cdot C_{\frac{N-1}{2}}^2$

Применяя к данным, приведенным в таблице 2 основные правила комбинаторики установлено, что для ТС минимально-параллельного структурного вида количество возможных вариантов сборки изделия выражается зависимостью:

$$V_{\text{т. мин-п.}} = \begin{cases} \frac{1}{4} \binom{N-1}{\frac{N-1}{2}} \left(1 + \frac{N}{2}\right) \left(\frac{N}{2}\right)^2 \left[\left(\frac{N}{2} - 1\right)!\right]^4, & \text{если } N \text{ парное } (N \geq 4) \\ \frac{(N+1)}{4} \binom{N-1}{\frac{N-1}{2}} \left[\left(\frac{N-3}{2}\right)!\right] \left[\left(\frac{N-1}{2}\right)!\right]^3, & \text{если } N \text{ не парное } (N \geq 5) \end{cases} \quad (2)$$

Учитывая тот факт, что для графа ТС максимально-параллельной структуры (рис. 1) на каждом следующем уровне R по сравнению с предыдущим $(R-1)$ -м уровнем, количество сборочных

компонентов уменьшается в 2 раза, были полученные зависимости количества возможных вариантов сборки для различных уровней графа, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3. Количество вариантов сборки изделия для ТС максимально-параллельного структурного вида

Уровень графа	Количество вариантов сборки
$R = \lceil \log_2 N \rceil - 1$	$\left(\left\lceil \frac{N}{2^{R-1}} \right\rceil - 1\right) \left(\left\lceil \frac{N}{2^{R-1}} \right\rceil - 3\right) = 3$
...	...
$R = 4$	$\left(\left\lceil \frac{N}{2^3} \right\rceil - 1\right) \left(\left\lceil \frac{N}{2^3} \right\rceil - 3\right)$
$R = 3$	$\left(\left\lceil \frac{N}{2^2} \right\rceil - 1\right) \left(\left\lceil \frac{N}{2^2} \right\rceil - 3\right)$
$R = 2$	$\left(\left\lceil \frac{N}{2} \right\rceil - 1\right) \left(\left\lceil \frac{N}{2} \right\rceil - 3\right)$
$R = 1$	$(N-1)(N-3)$

Общая формула теоретически возможных вариантов последовательности сборки для технологической схемы максимально-параллельного структурного вида выражается произведением:

$$V_{r, \max - n} = \prod_{k=1}^{\lceil \log_2 N \rceil - 1} \left(\left\lceil \frac{N}{2^{k-1}} \right\rceil - 1 \right) \left(\left\lceil \frac{N}{2^{k-1}} \right\rceil - 3 \right) \quad (3)$$

Большую значимость представляет поиск практически реализуемых в производственных условиях вариантов сборки V_{np} , среди которых можно выбрать оптимальный вариант по длительности производственного цикла. Количеством теоретически возможных V_r вариантов сборки является частью множества или подмножеством практически реализуемых V_{np} на производстве вариантов сборки: $V_{np} \subseteq V_r$.

Полученные соотношения (1), (2), (3) показывают, что при увеличении количества деталей N возрастает количество возможных вариантов сборки и, как следствие значительно увеличивается время проектирования технологического процесса, поэтому построение всех возможных вариантов сборки V_r не является целесообразным. С целью исключения из рассмотрения не нужных вариантов, в процессе разработки рациональной последовательности сборки изделий следует учитывать конструкторско-технологические ограничения. В качестве ограничивающих факторов используют конструкторско-технологические признаки СЭ:

- наличие общих базовых поверхностей между деталями и сборочными единицами;
- масса и габаритные размеры деталей;
- иерархичность строения изделий;
- точность изготовления отдельных сборочных элементов;
- ограничения доступа на перемещение одних деталей другими к месту установки.

Таким образом, количество вариантов сборки во многом определяется особенностями конструкции изделия. Для их учета разработаем математические модели.

Выполнение сборочными элементами (СЭ), входящими в состав изделия, определенных функций обеспечивается наличием между соответствующими поверхностями СЭ связей сопряжения и положения. Если детали в изделии сопрягаются по общим контурам, они имеют общие базовые поверхности. Эти связи базирования разделяются на основные и вспомогательные. Основные связи определяются наличием типов соединений между деталями, вспомогательные – реализуются в конструкции как следствие основных. Для учета связей базирования введем матрицу $B_{N \times N}$ (N – количество деталей в изделии), элементы которой имеют вид:

$$B_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если между } i - \text{ми } j - \text{м СЭ - ми отсутствуют общие связи базирования;} \\ 1, & \text{если между } i - \text{ми } j - \text{м СЭ - ми существует сборочное соединение.} \end{cases}$$

Матрица $B_{N \times N}$ описывает взаимное расположение СЭ в изделии. Исходной информацией для ее построения является чертеж изделия.

Кроме непосредственного контакта между поверхностями, относительная ориентация деталей в конструкции также задается размерными связями: линейными, угловыми, радиальными, диаметрными. Размеры, входящие в сборочную размерную цепь (СРЦ), реализуются в соответствии с последовательностью сборки элементов, входящих в ее состав. В случае наличия общих звеньев для нескольких размерных цепей, последовательность их сборки определяется правилами ранжирования СРЦ [1]. Для описания размерных связей в изделии определим математическую модель в виде матрицы $Z_{n \times n}$ (n - количество деталей, входящих в СРЦ):

$$Z_{i,j} = \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-й и } j\text{-й СЭ - ты связаны замыкающим звеном размерной цепи (РЦ);} \\ 2, \text{ если точность замыкающего звена РЦ достигается методом полной взаимозаменяемости;} \\ 3, \text{ точность достигается методом неполной взаимозаменяемости;} \\ 4, \text{ точность достигается методом групповой взаимозаменяемости;} \\ 5, \text{ точность достигается методом пригонки;} \\ 6, \text{ точность достигается методом регулирования;} \\ 7, \text{ для достижения точности применяются компенсирующие материалы} \end{cases}$$

Матрица $Z_{n \times n}$ позволяет находить замыкающие звенья размерной цепи, а также учитывать метод достижения точности сборки.

Те звенья размерной цепи, к которым предъявляются высокие требования по точности сопряжения, должны иметь также высокую точность изготовления. Чтобы избежать возрастания суммарных погрешностей размеров в процессе сборки, в первую очередь должны собираться те детали, к обеспечению точности которых предъявляются более высокие требования. Точность деталей опишем вектором T_N , значение элемента которого $T_j = k$, где k - качество точности изготовления детали.

На порядок сборки СЭ влияет также их масса и размерные характеристики. В первую очередь в сборке должны участвовать детали, имеющие меньшие размеры и массу. Это объясняется тем, что СЭ больших габаритов и массы тяжело перемещать и сопрягать с требуемой точностью. Для учета этих факторов введем вектор M_N с элементами ($M_j = m$, где m - масса деталей) и вектор G_N с элементами ($G_j = g$, где g - наибольший габаритный размер детали).

На последовательность сборки также оказывает влияние ограничение доступа одних деталей другими к месту установки, которые представим матрицей доступа $D_{N \times N}$, элементы которой:

$$D_{i,j} = \begin{cases} 0, \text{ если } i\text{-е сборочное соединение реализуется после } j\text{-го;} \\ 1, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Матрицы базирования и доступа определяют порядок вхождения деталей в изделие, относительно базовых СЭ, т. е. задают последовательность выполнения соединений.

Разработанные математические модели в виде одномерных и многомерных массивов в неявном виде содержат информацию о конструкторско-технологических характеристиках изделия, удобны для хранения данных в памяти компьютера и позволяют разработать общий алгоритм синтеза последовательности сборки, рациональной по длительности производственного цикла (рис. 3).

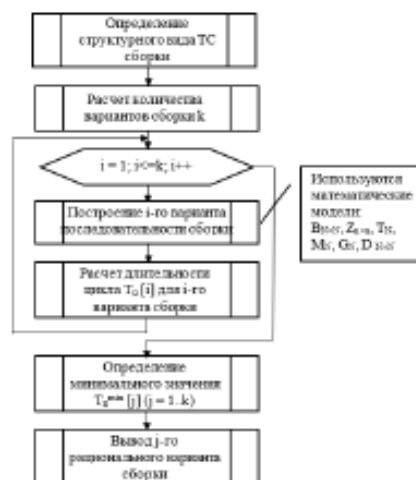


Рис. 3. Алгоритм построения рациональной последовательности сборки изделий

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В данной статье, в результате выполненных исследований, выявлены критерии рациональной последовательности сборки. С использованием численного моделирования получены аналитические зависимости между структурным видом технологической схемы сборки и количеством возможных вариантов сборки, которые показали значительное увеличение вариативности с усложнением конструкции изделий. Это обусловило необходимость учета ограничений, позволяющих среди множества вариантов сборки выявлять те, которые могут быть реализованы на практике. Для их учета были разработаны математические модели, которые описывают основные характеристики изделия: габаритные размеры сборочных элементов, их массу, точность изготовления, ограничения доступа на перемещения одних деталей другими к месту установки, наличие общих баз деталей и сборочных единиц, виды сборочных соединений. Матричное представление математических моделей, позволяет сохранять исходную информацию в памяти компьютера и использовать ее в автоматическом режиме. Предложенный алгоритм построения рациональной последовательности сборки изделий избавляет от необходимости перебора всех допустимых решений и сокращает количество вычислительных итераций.

К ограничениям разработанного алгоритма следует отнести ручной ввод исходных данных, что может привести к субъективной оценке и к значительным временным затратам при обработке большого объема вводимой информации, которая значительно возрастает с усложнением конструкции собираемых изделий. Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на возможность автоматической генерации исходных данных с использованием двумерных чертежей в цифровом виде, созданных с помощью программных инструментов CAD/CAE/CAM-систем.

Список библиографического описания

1. Захаров, Н. (1993) Построение рациональных автоматизированных сборочных технологических систем. 48 с.
2. Bojko, A., Ivahnenko, A., Chernyanskiy, A., Solncev, A., & Tovkach, P. (2012) Rational decision-making in design of assembly diagrams. *Science and Education of the Bauman MSTU*, 12(10), P. 33-36. <https://doi.org/10.7463/1012.0475116>
3. Bojko, A. (2016) Algebraic Models of Product Assembly Process. *Science and Education of the Bauman MSTU*, 16(12), P.216-232. <https://doi.org/10.7463/1216.0852565>
4. Yong-fa, Q., & Zhi-gang, X. (2007) Assembly Process Planning Using a Multi-objective Optimization Method. 2007 International Conference on Mechatronics and Automation, P. 593-598. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303610>
5. Revina, I. V., & Trifonova, E. N. (2020). Simulation modeling of the assembly process. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1441/1/012110>
6. Novak-Marcincin, J., Barna, J., Janak, M., Novakova-Marcincinova, L., & Torok, J. (2012). Visualization of intelligent assembling process by augmented reality tools application. 2012 4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, P. 33-36. <https://doi.org/10.1109/LINDI.2012.6319505>

References

1. Zakharov, N. (1993) Building rational automated assembly process systems. 48 p.
2. Bojko, A., Ivahnenko, A., Chernyanskiy, A., Solncev, A., & Tovkach, P. (2012) Rational decision-making in design of assembly diagrams. *Science and Education of the Bauman MSTU*, 12(10), P. 33-36. <https://doi.org/10.7463/1012.0475116>
3. Bojko, A. (2016) Algebraic Models of Product Assembly Process. *Science and Education of the Bauman MSTU*, 16(12), P.216-232. <https://doi.org/10.7463/1216.0852565>
4. Yong-fa, Q., & Zhi-gang, X. (2007) Assembly Process Planning Using a Multi-objective Optimization Method. 2007 International Conference on Mechatronics and Automation, P. 593-598. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303610>
5. Revina, I. V., & Trifonova, E. N. (2020). Simulation modeling of the assembly process. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1441/1/012110>
6. Novak-Marcincin, J., Barna, J., Janak, M., Novakova-Marcincinova, L., & Torok, J. (2012). Visualization of intelligent assembling process by augmented reality tools application. 2012 4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, P. 33-36. <https://doi.org/10.1109/LINDI.2012.6319505>



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАТИКА, МАТЕМАТИКА, АВТОМАТИКА

ІМА - 2020

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ
студентів та молодих вчених**

(Суми, 20-24 квітня 2020 року)

**Суми,
Сумський державний університет
2020**

Моделювання складальних процесів з використанням програмного забезпечення FlexSim

Чибіряк Я.І., доцент; Овчаренко К.В., студентка
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Виробничі системи характеризуються динамічністю, впливом стохастичних факторів, що визначає складність вирішення задач, пов'язаних з їх оптимізацією. Одним із найбільш потужних і ефективних методів дослідження виробничих процесів є імітаційне моделювання, що використовується, коли аналітичні рішення є складними та потребують значних обчислювальних витрат.

FlexSim – потужна програмне середовище для моделювання та аналізу складних систем різного призначення. У роботі розроблено та побудовано імітаційну модель виробничої дільниці у середовищі FlexSim (рис. 1), яка відтворює процес надходження до цеху 4-х типів комплектуючих, зборку складальних одиниць (CO1 і CO2) та готового виробу, що переміщується транспортером у зону зберігання. У технологічних операціях, що мають стохастичний характер задіяні оператори. У моделі налаштовано технологічні прості обладнання, оператори мають перерви в роботі.

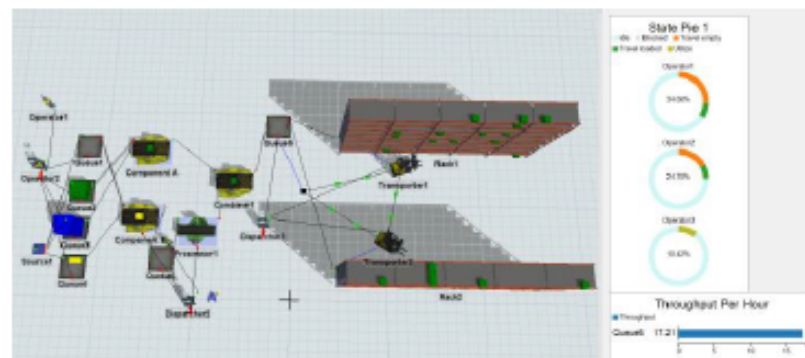


Рисунок 1 – Модель складальної виробничої дільниці

На основі проведених експериментів з моделлю було надано рекомендації по зменшенню кількості операторів від 3-х до 1-го. При цьому робоче навантаження склало не більше 70 % за зміну. Також визначено за якого режиму роботи ресурсів виробнича система має максимальну продуктивність.

Додаток Г
Акт впровадження