

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

СКОРКІН АНТОН ОЛЕГОВИЧ



УДК 658.512:658.52.011.56

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБОРКИ В УМОВАХ
ДРІБНОСЕРІЙНОГО МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА
ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
СТРУКТУРИ ПРОЦЕСУ**

Спеціальність 05.02.08 – Технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мельниченко Олександр Анатолійович,
Українська інженерно-педагогічна академія,
М. Харків,
професор кафедри металоріжучого обладнання і
транспортних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пасічник Віталій Анатолійович,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”,
м. Київ,
завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобуду-
вання

доктор технічних наук, професор
Шелковий Олександр Миколайович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
м. Харків,
професор кафедри технології машинобудування і
металорізальні верстати

Захист відбудеться «26» червня 2014 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «23» травня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Пермяков О. А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Як відомо, загальна проблема виготовлення машин складається з технологічних завдань, що включають точність виготовлення деталей і якість складальних процесів. Якщо перше завдання вирішується на етапі оптимізації процесу механічної обробки деталей, то друге знаходить рішення на завершальній стадії виготовлення машин в умовах технології складального виробництва.

Продуктивність праці в дрібносерійному складальному виробництві складних машинобудівних виробів також опиняється залежною від суб'єктивних чинників, а її рівень має тенденцію до періодичної зміни.

Зборка складних машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного виробництва характеризується низьким рівнем достовірності технологічних рішень. Це пов'язано з неможливістю пошуку оптимальних варіантів технологічних процесів для заданих організаційно-технічних умов виробництва із-за складності як об'єкту зборки, так і засобів, що при цьому застосовуються.

Одним з шляхів подолання цієї проблеми є технологічна підготовка виробництва, яка базується на направленому формуванні варіантів технологічних процесів складання і аналізі найбільш перспективних варіантів шляхом імітаційного тривимірного моделювання виробничого середовища.

Таким чином, проектування технологічного процесу непотокової стаціонарної зборки складних машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного виробництва без розчленування і з розчленуванням робіт для формування раціональних варіантів технологічних процесів за загальними витратами є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (УІПА) у рамках госпдоговірної НДР «Механічна обробка електроізоляційних матеріалів» (ДР №0133u001986, ВАТ «Енергетик, м. Харків), та договорів про науково-технічне співробітництво з Науково-виробничим машинобудівним приватним підприємством (НВМПП) «СТА-НКО» (м. Краматорськ), та ДП Харківський машинобудівний завод «ФЕД» (м. Харків) в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні ефективності організаційно-технологічної підготовки складального виробництва складних машинобудівних виробів на основі варіантного проектування та імітаційного тривимірного моделювання процесу функціонування виробничої системи на рівні переходу, операції, маршруту зборки.

Для досягнення сформульованої вище мети поставлені наступні завдання:

- постановка завдання моделювання організаційно - технологічної і технічної структур систем дрібносерійної зборки (СДЗ) складних машинобудівних виробів (СМВ), яка включає: опис СМВ; формулювання законів функціонування СДЗ СМВ; формулювання принципів розробки організаційно-технологічних

структур СДЗ СМВ; вибір критеріїв оцінки ефективності функціонування СДЗ СМВ; опис обмежень на область дослідження;

- розробка системи 3D - моделювання функціональних характеристик СДЗ СМВ, яка включає: опис структури 3D - моделі функціонування СДЗ СМВ; інформаційну модель взаємозв'язку функціональних характеристик СДЗ СМВ з параметрами процесу зборки; модель вибору системи оцінок ефективності функціонування СДЗ СМВ; структурно-параметричну модель 3D - імітації функціональних характеристик СДЗ СМВ;

- розробка методики оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ на основі 3D – моделювання, яка включає: методику оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ; узагальнену методику 3D - моделювання функціональних характеристик СДЗ СМВ; приклад реалізації методики оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ;

- апробація методики оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ в умовах в умовах ДП ХМЗ «ФЕД» і НВМПП «СТАНКО», яка включає: аналіз існуючих організаційно - технологічних і технічних структур складального виробництва; постановку завдання підвищення ефективності систем зборки вузлів, що охоплюють як великі машинобудівні вироби (на прикладі зборки вальцешліфувального верстата), так і вироби невеликих розмірів (на прикладі приводу генератора); аналіз початкових даних для моделювання їхніх організаційно-технологічних структур; аналіз результатів моделювання організаційно-технологічних структур систем зборки і розрахунків техніко-економічної ефективності отриманих результатів.

Об'єкт дослідження - технологічні процеси зборки складних машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного непотокового стаціонарного виробництва.

Предмет дослідження - організаційно - технологічна і технічна підготовка дрібносерійного складального виробництва складних машинобудівних виробів.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи на етапі формування принципів складання машинобудівних виробів залучені основні положення технології машинобудування. Для формалізації основних положень математичної моделі зборки застосовані теорія графів, математична логіка, числення предикатів. Елементи комбінаторики і теорія алгоритмів застосовані при формуванні варіантів технологічних процесів. Для поглибленої оцінки варіантів технологічних процесів в умовах діючого виробництва застосовані комп'ютерне моделювання та теорія математичної статистики. Перевірка адекватності моделей реально діючому виробництву виконувалася із застосуванням методів статистичного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі комплексного аналізу особливостей складання СМВ розв'язано науково-технічну задачу підвищення ефективності складальних процесів в умовах дрібносерійного непотокового стаціонарного виробництва шляхом прогнозування структур та параметрів систем організаційно - технологічної і технічної підготовки виробництва на засадах 3D – імітаційного моделювання. В роботі:

- вдосконалено математичну модель складання виробу в частині зв'язку між конструктивно-технологічними властивостями з'єднань, організаційно - технологічною і технічною структурами ділянки зборки і можливими послідовностями виконання технологічного процесу, яка представлена у вигляді множини траєкторій взаємних переміщень і позиціонування деталей, робочих, складальних, транспортних агрегатів і людини, а також накопичувачів системи складання;

- отримала подальший розвиток узагальнена математична модель функціональної структури системи складання яка дозволила розробити техпроцес складання в умовах дрібносерійного виробництва;

- удосконалено механізм імітаційного 3D - моделювання роботи системи зборки на рівнях: ділянка, склад, робоче місце (операція), технологічний перехід (прийом роботи), транспортна система, що дозволило більш точно прогнозувати поведінку окремих елементів системи складання;

- вперше розроблено математичну модель переходу від 3D - моделі вузла до 3D - моделі складального технологічного процесу, що дозволило суттєво зменшити час на розробку імітаційної моделі системи складання;

- вперше розроблені алгоритми і імітаційні логіко-лінгвістичні моделі структурно-параметричного синтезу СДЗ СМВ, засновані на об'єктно-орієнтованому підході до цілеспрямованого пошуку і оцінки варіантів структур і параметрів непотокових систем дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає у розробці узагальненої методики формування структури і параметрів технологічних процесів непотокової дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів на рівні переходу, операції і маршруту зборки.

Розроблені усі види забезпечення комплексу програм імітаційного тривимірного моделювання функціональної структури системи непотокової зборки складних машинобудівних виробів, що включає моделювання складальної, транспортної і накопичувальної підсистем.

Комплекс програм імітаційного тривимірного моделювання функціональної структури системи не потокової зборки пройшли випробування при складанні вузла «Привід генератора» ДП ХМЗ «ФЕД» (м. Харків) та вузла «Гідроагрегат» НВМПП «СТАНКО» (м. Краматорськ) що дозволило значно скоротити час збирання даних вузлів. Систему імітаційного тривимірного моделювання складальних процесів впроваджено на ДП ХМЗ «ФЕД» (м. Харків) та НВМПП «СТАНКО» (м. Краматорськ) для підвищення ефективності зборки складних машинобудівних виробів.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них здобувач особисто: виконав формальний опис принципів розробки організаційно-технологічних структур СДЗ СМВ; сформулював критерії оцінки ефективності функціонування СДЗ СМВ; розробив структурну, інформаційну, тривимірну структурно-параметричну моделі СДЗ СМВ; основні алгоритми аналізу і синтезу і прикладне програмне забезпечення; провів теоретичні і експериментальні

дослідження. У опублікованих роботах здобувачу належать основні ідеї проведених досліджень і наукове обґрунтування основних теоретичних положень. Постановка завдань досліджень, формулювання основних положень роботи, опрацювання структури за змістом роботи виконані разом з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень були представлені і обговорені на V International scientific - practical conference «Quality of technologies - Quality of life» (м. Сонячний Беріг, Болгарія - 2012 рік). XIX Международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века».(м. Донецьк, 2012 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 9 наукових праць, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України (2- у виданнях , включених до міжнародних наукометричних баз), 2 тез доповідей на науково-технічних конференціях і семінарах, 1 авторське свідоцтво України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 337 сторінок; 81 рисунок, з них 24 рисунки на окремих сторінках ; 33 таблиці, з них 4 на 6 сторінках; списку використаних джерел з 163 найменувань на 19 сторінках, 6 додатків на 149 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наведені її наукова новизна і практична цінність.

В першому розділі дана класифікація складальних процесів. Згідно з класифікацією машинобудівних виробів і прийнятими обмеженнями, досліджувані умови складання СМВ можуть бути охарактеризовані наступним чином: тип виробництва – дрібносерійне з обсягом 2-4 шт. в місяць і трудомісткістю виробу - більше 2500 годин; організаційна форма – стаціонарне непотокове складання без розчленування і з розчленуванням робіт.

При визначенні способу забезпечення точності процесу зборки необхідно вирішити наступні завдання: побудувати схему базування виробу; виявити і розрахувати розмірні ланцюги для визначення розмірів компенсаторів, припусків під механічну обробку у зборі та ін.; виявити деталі-компенсатори (якщо вони не вказані конструктором) і визначити умови їх постановки до моменту зборки.

На сьогодні ці проблеми по-різному вирішуються з використанням САПР ТП (АСТПП). Розробки в області САПР ТП зборки сильно розрізнені, відсутня найбільш наближена до реальних вимог концепція системи в цілому. Нині до САПР ТП (системам автоматизованого проектування технологічних процесів) зборки пред'являють наступні вимоги:

- вибір методу досягнення заданої точності зборки;
- декомпозиція виробу (складальної одиниці) відповідно до їх технологічної структури;
- вибір базових деталей для вузлової і загальної зборки;
- виділення у вузлі розмірних ланцюгів та їхній розрахунок;

- формування технологічного процесу зборки та його складових;
- вибір і оптимізація варіантів ТП зборки відповідно до заданих критеріїв;
- оформлення технологічної документації на ТП, що спроектовано.

На робочому місці (рис. 1) можуть бути розміщені: основне технологічне устаткування, допоміжне устаткування (транспортні засоби; складальні стенди, різноманітні вантажопідйомні пристрої і тому подібне), технологічне оснащення (збиральний і вимірювальний інструмент, різноманітні пристосування та технічна документація), організаційне оснащення (виробничі меблі, тара, засоби сигналізації, зв'язку, освітлення, захисні і запобіжні пристрої та засоби по охороні праці і техніці безпеки).

Практично усі технічні завдання, що вирішуються шляхом маніпуляцій з предметом виробництва, мають на увазі зміну числа його ступенів свободи. При цьому треба враховувати, що предмет машинно-ручних операцій втрачає їх на користь свободи з тією технічною системою, в яку він включений. Тому ступінь свободи об'єкту машинно-ручної роботи є базовим у визначенні усіх технічних властивостей системи обробки, а, отже, подібність між функціональними характеристиками робітника і використовуваними ним технічними об'єктами відкриває доступ до них для подальшого використання і корекції.

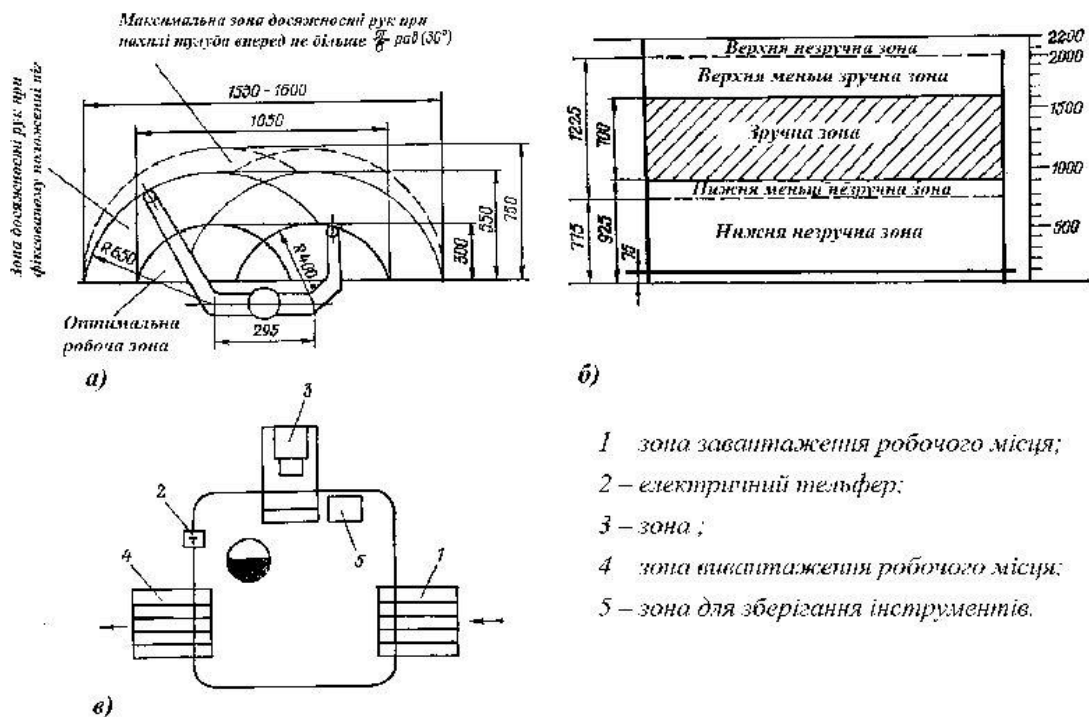


Рисунок 1- Планування робочого місця збиральника при вазі вузла більше, ніж 16 кг.: а – ергономічна зона рухів в горизонтальній площині; б – ергономічна зона рухів в вертикальній площині; в - планування робочого місця збиральника.

Світова наука і практика машинобудування орієнтована на рішення завдань точності виготовлення машин в задані терміни. Про це свідчить велика кількість наукових робіт в цій галузі знань. Першими дослідниками проблеми забезпечення якості виготовлення машин були Б.С. Балакшин, Б.М. Базров,

Н.А. Борадачъов, В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.П. Соколовський, Д.В. Чарнко, А. Б. Яхін та інші.

Відмітна особливість завдання забезпечення якості зборки машин полягає в протиріччі між вимогою теорії, при якій помилка при зборці не допустима, і практикою зборки, при якій вірогідність її появи найбільш висока. Усунення цього протиріччя створює теоретичну основу забезпечення якості складальних процесів, які відбиті в наукових працях Б.С. Балакшина, П.І. Буловського, М.В. Вартанова, Л.І. Волчкевича, О.О. Гусєва, Б.В. Гніденко, О.Г. Герасимова, О.М. Дальського, А.М. Журавльова, В.С. Корсакова, І.М. Колесова, М.Р. Лебедовського, В.А. Пасічника, О.М. Малова, К.Я. Муценка, М.П. Новікова, О.М. Рабіновича, А.М. Соболя, Ю.В. Тимофєєва, Б.Ф. Федорова, О.М. Шелкового, Е.І. Юрєвича і інших.

Велика різноманітність конструкцій, габаритних характеристик, технічних вимог, матеріалів у виробках машинобудування ускладнює вивчення закономірностей і взаємозв'язків, характерних для складних складальних операцій, і сприяє розробці оптимальних складальних операцій на основі уніфікованих комплексів.

Ефективність складального процесу визначається наступними складовими: якістю зборки; продуктивністю системи зборки; витратами на реалізацію складального процесу. Управління цими параметрами реалізується на етапах конструкторської підготовки виробу, технологічної підготовки виробничого процесу, організаційної і технічної підготовки процесу зборки.

Формування сукупності умов підвищення ефективності складання СМВ в умовах дрібносерійного виробництва стало основною ціллю цієї роботи.

Тому створення ефективного складального процесу з комплексним обліком, вище наведених чинників є актуальною проблемою технології машинобудування.

В другому розділі розглянуті і класифіковані закони функціонування СДЗ СМВ.

Закони функціонування СДЗ СМВ. Час складання виробів в СДЗ СМВ визначає технологічний операційний час (норму часу), необхідний для виконання робіт при проведенні технологічної операції.

Час складання залежить від ряду чинників : виду і номенклатури виконуваних технологічних переходів, як основних, так і допоміжних; кількості одночасно зібраних виробів і проведених операцій і, у зв'язку з цим, може бути класифіковано по ряду конструкторсько-технологічних ознак.

Ключовою в цьому плані є організаційна структура системи зборки (рис. 2) яку можна визначити за допомогою виразу.

$$\left[x_7 \left(x_4 \{ \partial, \nu, m \} \right) \underset{\min(A, N, T, C)}{\otimes}^{\{x_5, x_6\}} \{x_1, x_2, x_3\} \right] \Rightarrow x_7 \left(x_4 \{B\} \right), \quad (1)$$

де: $\{x_1, x_2, x_3\}$ - елементи системи складання: робоче місце складальника, система транспортування виробу, система складування виробу ; x_5 - технологічна

операція складання (ТОС); x_6 - технологічний процес складання (ТПС); $x_7(\dots)$ - партія виробів (ПВ); $x_4\{\dots\}$ - стани партії виробів (СПВ); $\{d, v, m\}$ - деталі, вузли та допоміжні матеріали, з яких складається виріб (d, v, m), виріб (B); $\min(A, N, T, C)$ - критерії формування організаційно-технічних та технологічних рішень, що застосовуються в процесі функціонування складальної ділянки: робота з'єднання (A), потужність енергетичної установки обладнання, що витрачена на процеси зборки та транспортування (N), час складання і транспортування вузла (T), приведені витрати на створення і підтримку виробничої системи в працездатному стані (C); \otimes - позначення взаємодії елементів складальної системи; \Rightarrow - позначення перетворення елементів складального процесу.

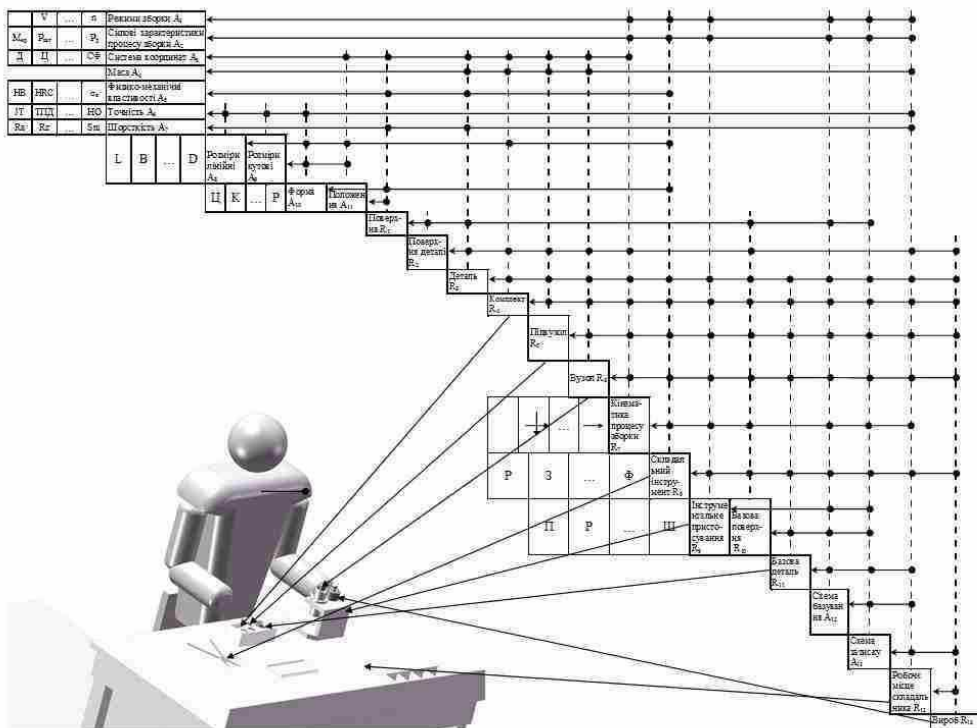


Рисунок 2- Структурна модель функціонування СДЗ СМВ

Динамічна модель процесу проектування зборки. Математичне моделювання дозволяє розкрити функції проектування через функції опису станів, які в процесі проектування утворюють послідовність, і функції переходу від одного стану до іншого (рис. 3, табл. 1). При цьому процес зборки характеризується змінною складу виробу, який підкоряється закономірностям взаємного положення деталей і їх поверхонь в тривимірному просторі. Порядок зборки визначається властивостями виробу: усі деталі обмежені в переміщеннях по усіх напрямках; одні деталі закривають доступ до інших; кожна деталь орієнтована відносно іншої.

Таким чином, динамічна модель дозволяє визначити простір зміни стану і основні множини, характер зміни, тобто основний закон перетворення одного стану в інше. У загальному випадку, динамічна модель оцінює завдання проектування в головному, а саме: динамічна модель дозволяє визначити основну властивість, що характеризує процес проектування; крім того, через цю власти-

вість виражається поняття зміни, через яку може бути виражена зміна будь-якого об'єкту проектування технології машинобудування.

Таблиця 1 - Фрагмент опису укрупненої структури десигнат семантичної мережі формування виробу складанням

Описи фактів	Структури десигнат (рис. 2 і 3)
F1: Агентів ДЕТАЛЬ (R4) належить об'єкт ПРИЄДНУВАЛЬНА ПОВЕРХНЯ (D1)	D1: ім'я ПОВЕРХНЯ, ЩО ПРИЄДНУЄТЬСЯ (R5) D1: поверхня (R1) D1: система координат (A3) _____ D1: фізико-механічні властивості (A5) __ D1: _____ шорсткість (A5) _____ D1: розміри лінійні (A8) D1: форма (A10) _____ D1: розміри кутові (A9)

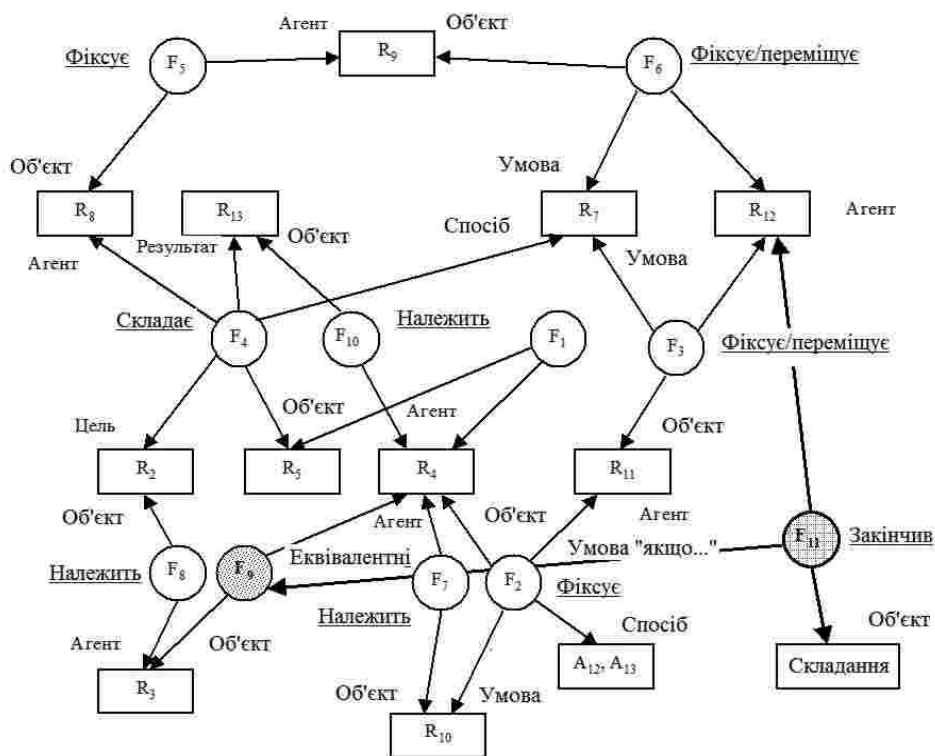


Рисунок 3 - Семантична мережа зв'язку функціональних характеристик СДЗ СМВ з її станами

Наявність загальної основної властивості дає можливість різнохарактерним елементам, що беруть участь в завданнях проектування, представити як єдине змінюване ціле.

Логіко-лінгвістична модель процесу проектування зборки дає, зрештою, опис затверджень технології в математичній формі за допомогою логічних функцій, що виражають технологічні взаємодії через класи стосунків (рис. 4). Розгляну-

то властивості конструкції виробу, необхідні для вирішення завдань автоматизації конструювання і проектування процесів зборки.

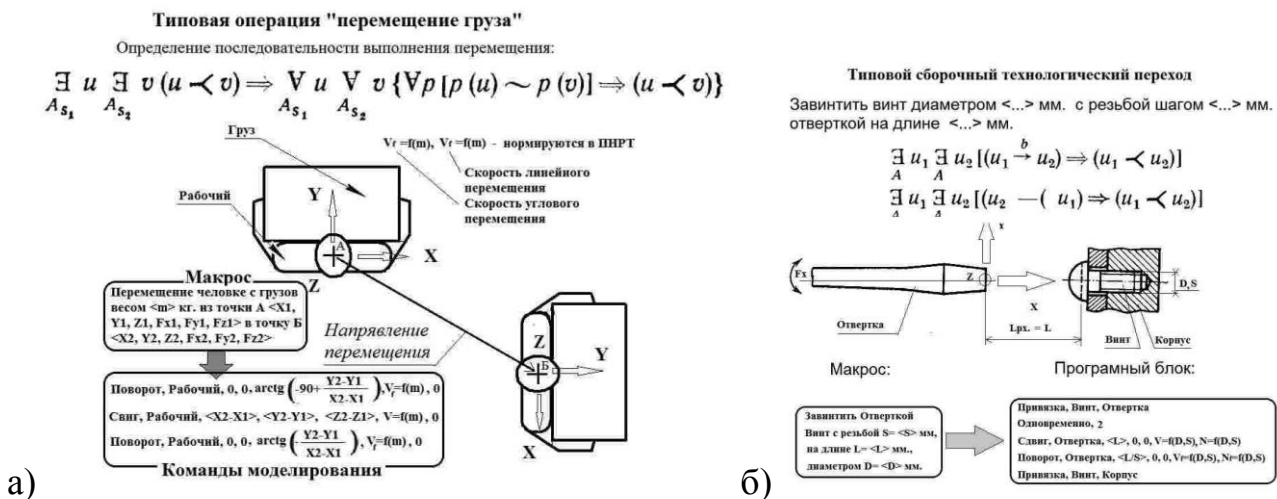


Рисунок 4 - Приклади формування типових блоків команд імітації елементарних дій процесу складання: а - переміщення людини з вантажем; б - завинчування гвинта.

Структурна 3D - модель функціонування СДЗ СМВ. Для повноцінної роботи системи проектування складального процесу потрібна конструкторсько-технологічна модель виробу (КТМВ). Це завдання має рішення у вигляді представлення виробу графом, вузли якого утворюються сукупністю модулів поверхонь (МП), а ребра - модулів з'єднання (МЗ). Відповідною під задачею є декомпозиція виробу на МП і МС, встановлення зв'язків між ними і безпосередньо побудова графа виробу. Таким чином, система САПР матиме можливість пізнавати виріб і деталі як об'єкти, що взаємодіють, а не як абсолютно знеособлені тіла.

Розроблено інформаційну модель взаємозв'язку функціональних характеристик СДС СМВ з параметрами процесу складання.

Також розглянуто властивості конструкції виробу, необхідні для вирішення завдань автоматизації конструювання і проектування процесів зборки.

В третьому запропонована методика оптимізації організаційно-технологічної структури системи дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів на основі тривимірного моделювання, сутність якої полягає в генерації варіантів складання виробу, та подальшому пошуку найбільш раціонального варіанта на підставі урахування організаційних і технічних умов складання.

Для цього, на підставі моделей, що розроблені у другому розділі, запропонована побудова САПР ТП складання (рис. 5):

Б1. Модуль отримання графа виробу (рис. 5). У даному модулі здійснюється автоматизована генерація графа виробу, що утворено сукупністю МПБ (МП, що базують) деталей і зв'язками між ними. Виконується декомпозиція виробу на МП і виявлення МС. Вимагає алгоритму виділення і розпізнавання в деталях

МП і МС. Після чого виявляють базові деталі для загальної і вузлових збірок. Для цього використовуються дані по масі, габаритам і кількості МС, які утворює деталь.

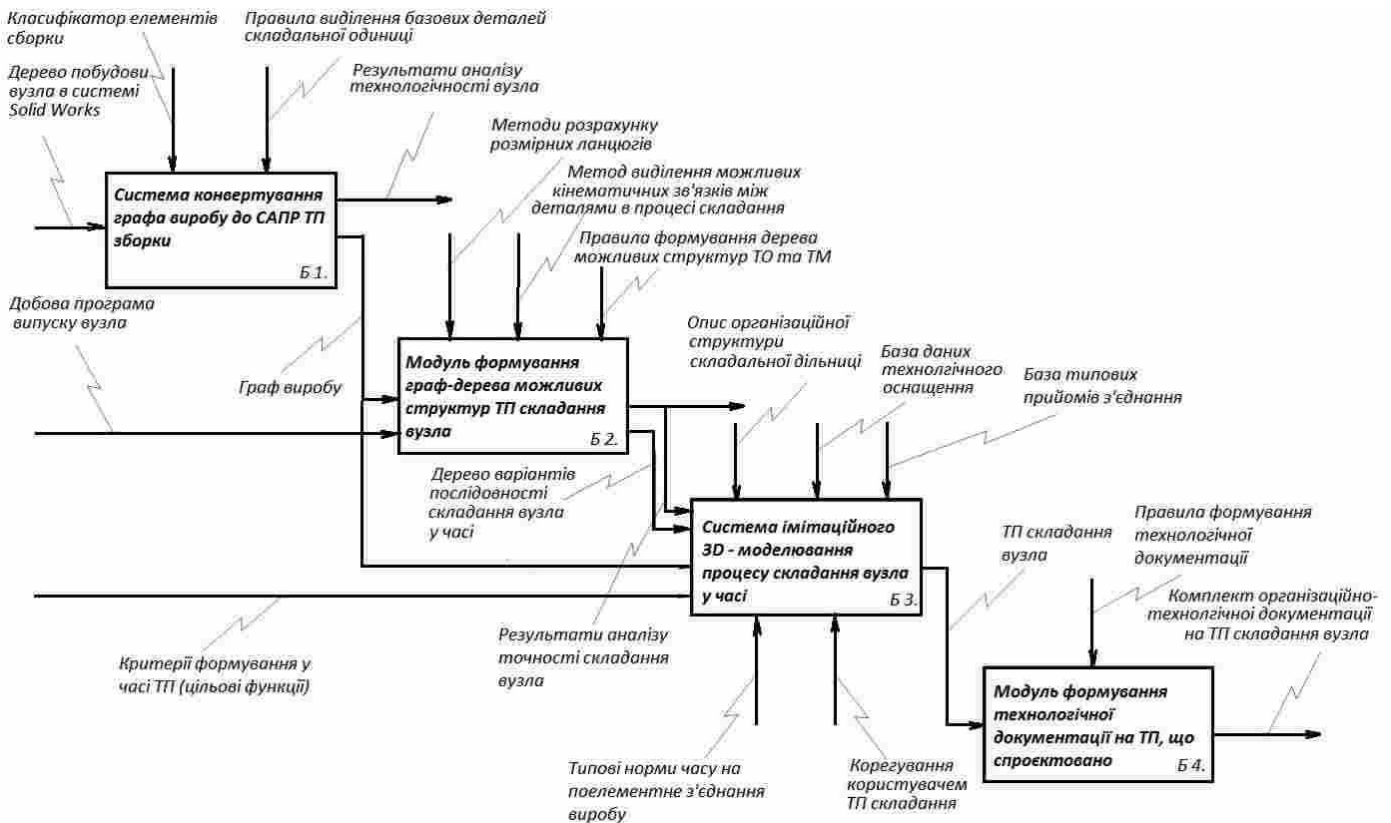


Рисунок 5 - Методика оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ

Б2. Конструкторсько-технологічний модуль (рис. 5) надає можливість конструктору виконати попередню оцінку можливості складання виробу, що спроектовано, виконати аналіз його точності і розрахувати приблизну оцінку технологічності по індексу DFA - Design For Assembly. Розраховується узагальнений коефіцієнт складання для кожної з деталей (Ksb_i), що входять у виріб (2)

$$Ksb_i = \sqrt[3]{\frac{V_i}{V_{max}}} + \sqrt{\frac{S_{\Sigma i}}{S_{\Sigma max}}} + \frac{n_i}{n_{max}}, \quad (2)$$

де: V_{max} – об'єм самої великої деталі; V_i – об'єм поточної деталі; $S_{\Sigma max}$ - максимальна сумарна площа поверхонь деталей, що контактують з однією з деталей; $S_{\Sigma i}$ - максимальна сумарна площа поверхонь деталей, що контактують з i -ю деталлю; n_{max} – максимальна кількість деталей, що приєднується до одної з деталей у вузлі; n_i - кількість деталей, що приєднується до поточної деталі.

Деталь з найбільшим Ksb_i береться за базову для всього виробу. На підставі вибору базової деталі всього виробу будується граф виробу. Останні деталі пе-

ревіряються як базові для складальних одиниць (СО) після певних правил з врахуванням зв'язків в графі виробу. Далі на підставі інформації про СО граф виробу доповнюється відповідною інформацією.

Формуються варіанти послідовності збірки як сукупність всіх можливих варіантів ТП на підставі графа виробу. Будується дерево варіантів послідовності збірки (ДПЗ). На верхньому рівні розташовані всі деталі виробів, на нижньому - готовий виріб. Проміжні рівні відображають всі можливі варіанти стану збирального виробу (ВСВ). У процесі побудови дерева ВСВ з нього виключають варіанти на підставі наступних критеріїв : 1. якщо деталь, що входить до складу ВСВ, не утворює з іншими деталями даною ВСВ модулів з'єднання; 2. якщо ВСВ складається з однієї базової деталі; 3. неможливості продовження збірки виробу унаслідок відсутності доступу до місця монтажу деталі, що до варіанту складу ВСВ. Цей критерій виявляється на основі розрахунку зіткнення тривимірних моделей елементів вузла.

Б3. Модуль формування ТП (рис. 5). Формуються декілька варіантів схем вибору установки і формування ТП збірки. Вибираються схеми встановлення (СВ). Після чого вибирають і коректують варіант ТП на підставі прийнятих критеріїв ефективності збірки.

Б4. Модуль формування ТД (технологічній документації) на вибраний ТП (рис. 5). Відповідно до заданих правил формується технологічна документація на вибраний і відкоригований ТП складання. Проводиться остаточна візуалізація складального процесу. Візуалізація зберігається у форматі, зручному для переглядання процесу зборки виробу з будь-якої точки зору в просторі і що передбачає зберігання додаткової інформації про складальний процес.

Методика управління імітованою технологічною системою, за аналогією з реальною, містить відносно постійні і кориговані частини, тобто, має відносну стійкість, що дає привід запропонувати ввести поняття типової складальної технологічної операції (ТСТО). Інформація про склад чинників ТСТО, що успішно відпрацювані розміщують у базі знань. Для здійснення управління складальним процесом динамічно формується структура з елементарних систем, які уявляють собою робочі групи дій. Виконавчі групи дій використовують інформацію зі своєї локальної бази даних про ознаки і властивості руху, про рівень і порядок взаємодії ТСТО (рук з інструментами, деталей, вузлів і пристосування і таке інше). В процесі роботи локальна база знань і даних доповнюється просторовими характеристиками і властивостями об'єкту дії із загальної бази даних і знань. Ці системи є елементарними алгоритмами управління технологічними комплексами (на приклад, рис. 6).

У міру накопичення досвіду роботи, за кожною групою дій закріплюється локальна база даних і знань про підмножину елементів оснащення, стосунків робочого середовища і сценарію його розгортання в технологічному комплексі. Тоді варіант ТСТО складається з комбінації таких груп.

Збіг в активації різних груп дій, по частині вибраних ситуацій робочого середовища, є результатом діяльності плануючої підсистеми старшої системи, що управляє. Вона, використовуючи поточну інформацію, і інформацію в розподіленій базі даних, прогнозує результат діяльності потенційних ТСТО, програючи

їх сценарії стосовно існуючих умов. Згідно з отриманими, плануючою підсистемою результатам, система, що управляє, підвищує потенціали активності деяких груп. Елементарна ТСТО в процесі роботи, активізує в першу чергу саме ці групи. Система старшого рівня, що управляє, застосовуватиме ТСТО, що складаються з груп з найбільшими потенціалами активності, які постійно задаватимуться плануючою системою.

Робота ТСТО протікає в режимі постійної корекції, з урахуванням даних, що поступають, про стан технологічного комплексу. Якщо в протязі деякого часу не буде досягнутий задовільний результат, то імовірна міра, по якій були вибрані складові її групи робіт знижується, що дає можливість розширити круг використовуваних методів і даних. Вдала комбінація активних груп можливих робіт, що випала, відразу реєструється плануючою підсистемою у базі знань при перерозподілі умовної вірогідності послідовності збирання.

Враховуючи інформаційну, семантичну і логіко-лінгвістичну моделі процесу зборки, була розроблена узагальнена структура системи імітаційного 3D моделювання складального процесу, яка реалізується на 3 - вимірних моделях його елементів, переходів системи з одного стану в інший. Вона є моделлю монітора який забезпечує опитування стану кожного з елементів, що входять в систему зборки і перевіряє наявність умов переходу елементів з одного стану в інший до тих пір, поки умова зборки вузла в цілому не буде виконана.

Таким чином, узагальнену модель системи 3D моделювання зборки вузла можна представити у вигляді опису станів її елементів в різні моменти часу на допустимій множині станів (3), метою якої є досягнення екстремального значення цільової функції H відповідно до структурної моделі критеріїв $XС$

$$\Sigma = \{T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, H, G\}, \quad (3)$$

де T - множина моментів часу, на якій аналізується виробнича система; X - множина станів елементів виробничої системи (робоче місце складальника, транспортна система, склад); U - вхідні дії на робочому місці складальника (РМС), у транспортній системі (ТС), на складі (С) (команди на зборку, завантаження, розвантаження та ін.); W - множина допустимих вхідних дій на РМС, у ТС, на С; Y, G - миттєві значення реакцій на РМС, у ТС, на С на допустимі вхідні дії; G - моделі перетворення вхідних сигналів РМС, ТС, С, СС у вихідні; H - вектор миттєвих станів системи складання (СС) (система 4).

В четвертому розділі розглянуто методику оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ. На основі розроблених вище математичних моделей розроблено методику побудови технологічного процесу складання виробу (рис. 5), сутність якої полягає в тому, що на вході системи моделювання задається тривимірна модель виробу, організаційна структура ділянки у вигляді планування і задається програма випуску цього виробу.

У системі імітаційного моделювання здійснюється пошук такої структури технологічного процесу, при яких прийнята цільова функція набуватиме екстремальних значень. За результатами імітаційного моделювання ми отримуємо маршрутно-операційну технологію у вигляді технологічних документів. Для цього

побудовано функціональну модель системи імітаційного 3D - моделювання складальних процесів. Для реалізації цієї схеми проектування розроблено програму 3D моделювання (рис. 6).

$$\left\{ \begin{array}{l} C = T_o l_o + \sum_{i=1}^p T_{y3i} l_{y3} + \sum_{i=1}^m \tau_M S + \sum_{i=1}^k t_{n.3i} l_n + 100 S_o \frac{(K_a + K_s)}{N} \rightarrow \min, - \left[\begin{array}{l} \text{Собівартість} \\ \text{складання} \\ \text{партії виробів.} \end{array} \right] \\ T_i = \sum_{j=1}^{N_i} t_{ui,j} \rightarrow \min, - [\text{Загальний час складання партії виробів.}] \\ T_i \leq T_{\max}, \\ C \leq C_{\max}, \\ t_{ui} = \sum_{i=1}^n t_{npi} \left[1 + \frac{\beta + \gamma}{100} \right], - [\text{Штучний час складання виробу.}] \\ q_1 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n) \cdot \gamma_1} \rightarrow \min, - \left[\begin{array}{l} \text{Кількість робочих місць, які} \\ \text{попередньо повинен пройти} \\ \text{вироб, що збирається.} \end{array} \right] \\ S_{\text{дйл.}} \leq S_{\max}. - [\text{Площа ділянки.}] \end{array} \right. \quad (4)$$

На першому етапі на основі тривимірної моделі збираного вузла переводимо його характеристики в характеристики поверхонь і деталей. На другому етапі формується дерево можливих технологічних побудов, а так само розраховується коефіцієнт зборки. На третьому етапі здійснюється тривимірне моделювання по сформованих варіантах технологічних рішень.

На четвертому етапі формується вихідна документація в системі ТехноПро 5+, яка надалі може бути використана при виготовленні конкретного складального вузла.

В якості початкових даних для проектування технології зборки треба брати: 3D модель виробу; планування робочої ділянки; застосоване складальне обладнання.

Далі необхідно визначити, які з цих деталей є базовими, а які є елементами кріплення, а також визначити площі контакту поверхонь контакту деталей і об'єми деталей. На основі цих даних розраховується коефіцієнт зборки.

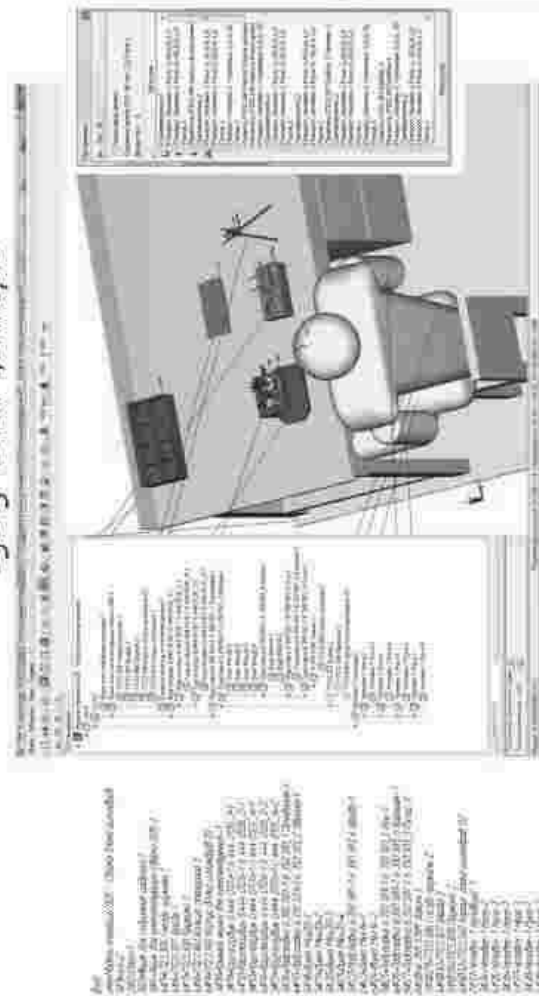
На наступному етапі формується послідовність складальних переходів. Перше, з чого необхідно починати формування моделі процесу складання - знайти базову деталь за максимальним значенням коефіцієнта зборки.

Далі виконується перевірка можливості приєднання до сформованого вузла кріпильних деталей. Після чого цикл пошуку базових і кріпильних деталей повторюється до тих пір, доки не будуть встановлені всі деталі. При цьому формується послідовна структура технологічного процесу складання.

В результаті отримуємо послідовність переходів що забезпечують формування жорсткої конструкції виробу в процесі її зборки і що враховує особливості входження деталей в складальний вузол. Проте якщо виконати ці переходи послідовно, то ми отримуємо занадто тривалий цикл зборки вузла в цілому.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ СКЛАДАННЯ ВУЗЛА "БЛОК ЦИЛІНДРІВ" НА ОПЕРАЦІЇ 025 "ЗБІРКА БЛОКУ ЦИЛІНДРІВ"

Робоче місце перед початком складання
вузлу "Блок циліндрів"



1. Встановлення корпусу блоку циліндрів до пристосування



2. Встановлення корпусу блоку циліндрів



3. Встановлення вузла до корпусу

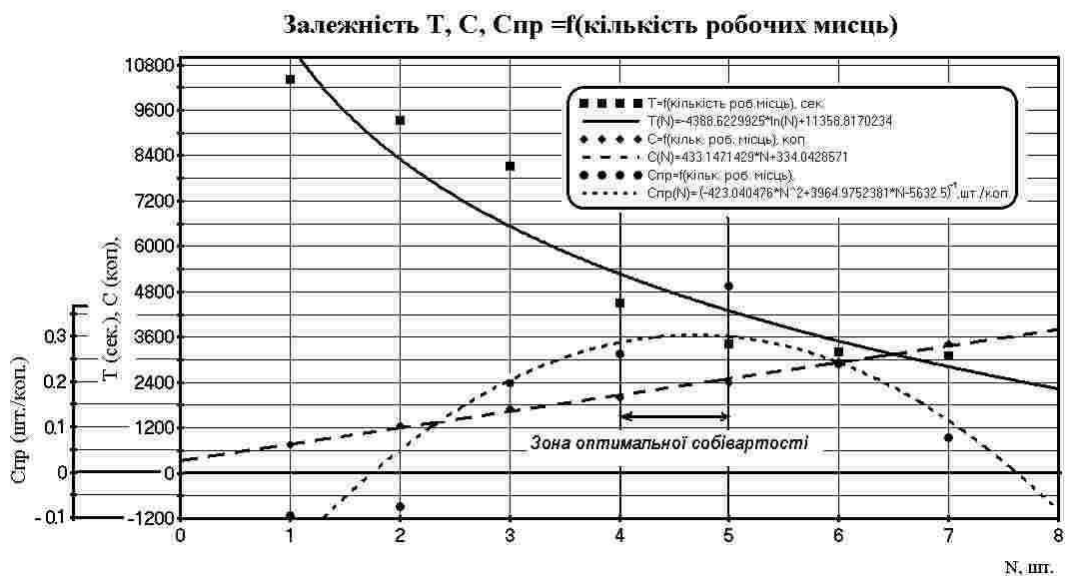


4. Збирання блоку циліндрів

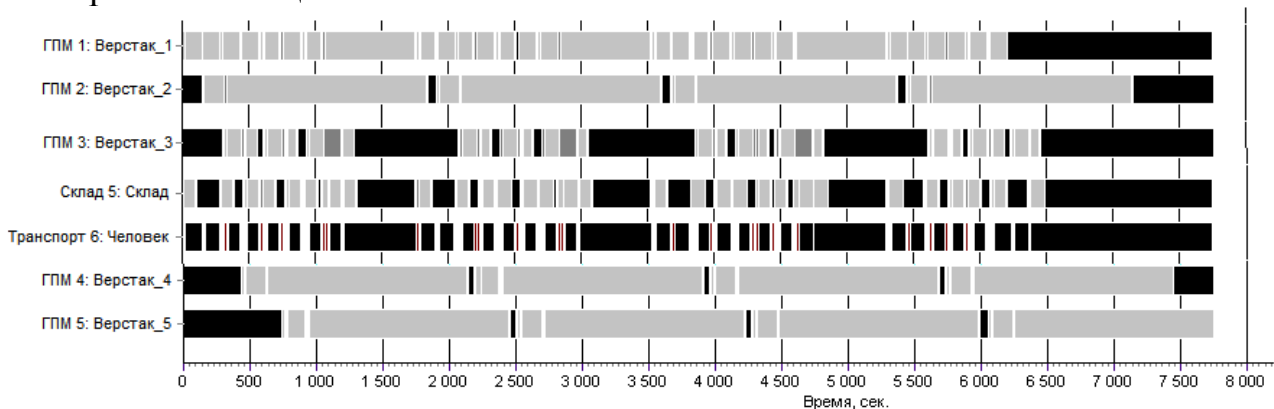


Рисунок 6 - Імітаційне моделювання робочого місця складання столу

На наступному етапі формуються структури технологічних операцій, що дозволяють виконати складальний процес з максимально можливою кількістю переходів, що виконуються паралельно. Для цього на основі матриці послідовних переходів і матриці початкових даних будується нова структура, в якій на основі аналізу зв'язків між деталями визначаються ті структурні компоненти, які можуть збиратися паралельно. Отримана структура відповідає умовам, при яких сумарний час зборки буде мінімальним. Проте такій побудові технологічного процесу відповідає максимальна кількість витрат на складальний процес, оскільки збільшується кількість збирачів, а так само робочих місць і кількість устаткування, що призводить до збільшення собівартості зборки. Тому на наступному етапі необхідно знайти таку структуру технологічного процесу, яка б відповідала мінімальним приведеним витратам при яких буде виконаний виробничий процес, в неї входять як складові часу зборки, так і кількість робочих місць та площа займана устаткуванням (рис. 6, 7).



А) Залежність між тривалістю складання (Т), затратами на складальний процес (С), кількістю зібраних одиниць продукції на одиницю затрат (Спр) і кількістю робочих місць.



Б) Діаграма Ганта роботи складальної дільниці з двох верстаків.

Рисунок 7 - Приклад кількісного аналізу результатів моделювання роботи системи складання вузла «Механізм швидкого підведення»

Тому на наступному етапі знайдено такі структури технологічного процесу, які відповідають мінімальним приведеним витратам (Спр, шт./коп., рис. 7, а) на виробничий процес з урахуванням часу зборки, що дозволило визначити найбільш раціональну структуру складальної ділянки в рамках прийнятої організації зборки, кількість робітників, їхню кваліфікацію та структурно-параметричні характеристики технологічного процесу на операціях і переходах.

Для цього виконано імітаційне моделювання різних варіантів технологічного процесу з різними організаційно-технологічними структурами. Найбільш ефективно організаційно-технологічне рішення за критерієм **Спр** задокументоване у вигляді технологічних документів за допомогою системи «ТехноПро 5+».

Це дозволило поліпшити процес ручної зборки вузла «Привід генератора» на ДП ХМЗ «ФЕД» і розробити технологічну документацію та виконати нормування процесу складання вузлів «Гідроагрегат», «Привід керування» та інших вузлів вальцешліфувального верстата, який відремонтовано в НВМПП «СТАНКО». Загальний економічний ефект від впровадження від удосконалених технологій у ДП «ФЕД» і НВМПП «СТАНКО» склав 32156 гривень на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконано теоретичне узагальнення та нове розв'язання науково-технічної задачі підвищення ефективності непотокового складального виробництва складних машинобудівних виробів шляхом прогнозування структур та параметрів систем організаційно-технологічної і технічної підготовки виробництва на засадах 3D імітаційного моделювання.

1. На основі об'єктно-орієнтованого проектування вперше створена узагальнена математична тривимірна модель функціональної структури системи зборки, що дозволяє з високою точністю відтворити процес складання виробу.
2. Розроблено механізм імітаційного 3D - моделювання роботи системи складання на рівнях: ділянка, склад, робоче місце (операція), технологічний перехід (прийом роботи), транспортна система, що дозволяє застосувати принципи системного підходу до проектування організаційно-технологічної структури системи складання СМВ в цілому.
3. Розроблено математичні моделі переходу від 3D моделі вузла до 3D моделі складального технологічного процесу, що використано для формування структур і параметрів технологічних переходів та операцій.
4. Створено алгоритми і імітаційні логіко-лінгвістичні моделі структурно-параметричного синтезу СДЗ СМВ, які засновані на об'єктно-орієнтованому підході та цілеспрямованому пошуку і оцінці варіантів структур і параметрів не потокових систем дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів.
5. Розроблено систему аналізу і вибору обґрунтованої послідовності не потокової зборки складного виробу на основі обліку його внутрішніх розмірних зв'язків, організаційно-технічної ситуації на складальній ділянці, технічних особливостей складального устаткування і фізіологічних особливостей скла-

дальника, що дозволило повністю автоматизувати процес формування структури і черговості виконання етапів технологічного процесу.

6. Створені усі види забезпечення комплексу програм імітаційного 3D моделювання функціональної структури системи не потокової зборки складних машинобудівних виробів, що дозволяє виконувати моделювання складальної, транспортної і накопичувальної підсистем.
7. Здійснено впровадження системи імітаційного 3D - моделювання складальних процесів на підприємствах ДП ХМЗ «ФЕД» і НВМПП «СТАНКО». Загальний економічний ефект від впровадження склав 32156 гривен.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мельниченко А. А. TECNOMATIX – система моделювання технологічних процесів / А. А. Мельниченко, О. Л. Кондратюк, А. О. Скоркін // Машинобудування. Збірник наукових праць. Вип. 7-8. – Харків, УПА, 2011. –С. 148-153

Здобувачем проведено аналіз існуючих методів моделювання технологічних процесів. Проаналізовано систему TECNOMATIX.

2. Мельниченко А. А. Основные принципы функционирования систем мелкосерийной сборки сложных машиностроительных изделий / А. А. Мельниченко, О. Л. Кондратюк, А. О. Скоркін // Прогресивні технології і системи машинобудування. Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк, 2012. –Вип. 1,2(43). –С. 201-205.

Здобувачем виконано опис основних принципів функціонування складальних систем дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів

3. Кондратюк О. Л. Багатомірне керування технологічними процесами у виробництві мехатронних пристроїв / О. Л. Кондратюк, А. О.Скоркін, О. А Рудькова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 1/9 (61) 2013. С. –72-75.

Здобувачем виконано опис принципів формування технологічних процесів у виробництві мехатронних пристроїв.

4. Скоркін А. О. Класифікація законів функціонування систем дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів / А. О. Скоркін, О. Л. Кондратюк // Машинобудування Збірник наукових праць. – Харків УПА, 2013. - №12. - С.135-139.

Здобувачем виконано опис класифікацій функціонування систем дрібносерійної зборки.

5. Скоркін А. О. Закономірності функціонування системи дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів / А. О. Скоркін, О. Л. Кондратюк // Вісник НТУ «ХП». – Харків.: НТУ «ХП» – 2014. - №7 (1050). – С.12 – 16

6. Скоркін А. О. Методика оптимізації організаційно-технологічної структури систем дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів // Технологіческий аудит и резервы производства. – Харків, 2014. - №1/2(15) - С.18-21.

Здобувачем обґрунтована методика оптимізації організаційно-технологічної структури зборки складних машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного виробництва.

Здобувачем обґрунтовані закономірності функціонування системи дрібносерійної зборки які впливають на процес зборки.

7. Скоркін А. О., Кондратюк О. Л. Комп'ютерна програма «Системний модуль ГИМПМ (Proedit) // Свідотство про реєстрацію авторського права на твір № 48621. Дата реєстрації 8.04.2013

8. Мельниченко О. А., Кондратюк О. Л., Скоркин А. О. Основные принципы функционирования систем мелкосерийной сборки сложных машиностроительных изделий // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник тезисов XIX международной научно-технической конференции. Том 2 - Донецк, 2012. - С.181.

Здобувачем обґрунтовані основні принципи функціонування зборки складних машинобудівних виробів.

9. Скоркін А. О. Повышение эффективности мелкосерийной сборки сложных машиностроительных изделий на основе 3D-моделирования // Сборник тезисов V Международной научно-практической конференция «Качество технологий-качество жизни». – Харьков, УИПА 2012. - №6. - С.51.

Здобувачем сформульовані основні критерії підвищення ефективності дрібносерійної збірки.

АНОТАЦІЇ

Скоркін А. О. Підвищення ефективності зборки в умовах дрібносерійного машинобудівного виробництва на основі імітаційного моделювання структури процесу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2014.

Дисертація присвячена вирішенню питань підвищення ефективності організаційно-технологічної підготовки складального виробництва складних машинобудівних виробів на основі імітаційного 3D - моделювання процесу функціонування виробничої системи на рівні переходу, операції, маршруту зборки.

У дисертаційній роботі наведені теоретичні дослідження, спрямовані на моделювання конструкторсько-технологічних й технічних рішень, створення процедур цілеспрямованого скорочення терміну складання складних машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного виробництва.

Вирішені задачі: моделювання організаційно-технічної і технологічної структур систем дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів.

Розроблено методику оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ на основі 3D - моделювання, яка включає: методику оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ; узагальнену методику 3D - моделювання функціональних характеристик СДЗ СМВ та наведено приклад реалізації методики оптимізації організаційно-технологічної структури СДЗ СМВ.

Моделі й методики апробовано при оптимізації організаційно-технологічних структур СДЗ СМВ в умовах ДП ХМЗ «ФЕД» і НВМПП «СТАНКО» із загальним економічним ефектом від впровадження 32156 гривень.

Ключові слова: технологічний процес складання, послідовність зборки, складальний виріб, математична модель, 3D – імітаційне моделювання, САПР.

Скоркин А. О. Повышение эффективности сборки в условиях мелкосерийного машиностроительного производства на основе имитационного моделирования структуры процесса. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2014.

Диссертация посвящена решению вопросов повышения эффективности организационно-технологической подготовки сборочного производства сложных машиностроительных изделий на основе имитационного 3D - моделирование процесса функционирования производственной системы на уровне переход, операция, маршрут сборки.

В диссертационной работе приведены теоретические исследования, направленные на моделирование конструкторско-технологических и технических решений, создания процедур целенаправленного сокращения срока сборки сложных машиностроительных изделий в условиях мелкосерийного производства.

Решены задачи моделирование организационно-технической и технологической структур систем мелкосерийной сборки сложных машиностроительных изделий.

Разработана методика оптимизации организационно-технологической структуры СМС СМИ на основе 3D - моделирование, которая включает: методику оптимизации организационно-технологической структуры СМС СМИ; обобщенную методику 3D - моделирование функциональных характеристик СМС СМИ, а так же приведен пример реализации методики оптимизации организационно-технологической структуры СМС СМИ.

Моделі й методики опробовані при оптимізації організаційно-технологічних структур СМС СМІ в умовах ГП ХМЗ «ФЭД» і НВМПП «СТАНКО» з общим економічним ефектом от внедрения 32156 гривен.

Ключевые слова: технологический процесс сборки, последовательность сборки, сборочное изделие, математическая модель, 3D – имитационное моделирование, САПР.

Skorkin A. O. Improving the efficiency of the assembly in a small batch of engineering production, based on the simulation of the process structure. - Manuscript.

Thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences on a specialty 05.02.08 - Engineering Technology. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2014.

This thesis deals with the issues of improving the effectiveness of organizational and technological preparation of production of complex assembly machine- building products based simulation 3D - modeling of the functioning of the production system at the level of the transition , operation , march- Root assembly.

In this thesis, theoretical research aimed at modeling technological design and technical solutions , creating procedures targeted reduction of term assembly of complex engineering products in small-scale production .

The problems of modeling of organizational , technical and technological structures of small-scale assembly of complex systems engineering products .

The technique of optimizing organizational and technological structure of VTS DMBG based 3D - modeling, which includes optimization technique organizational and technological structure of VTS DMBG ; generalized methodology for 3D - modeling the functional characteristics of SDS MWSS , as well as an example of the implementation of optimization techniques of organizational and technological structure of VTS MWSS .

Models and methods tested in the optimization of organizational and technological structures VTS MWSS under SE KMBP "FED" and MBRPPE "STANKO" to the overall economic effect of the introduction of 32,156 hryvnia.

Keywords: assembly process , assembly sequence , assembly product , a mathematical model , 3D - simulation, CAD.



