

ПРОГРАМНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМІРОК

Однією з важливих задач технологічної підготовки гнучкого дискретного виробництва, що виконується при створенні нових та автоматизації існуючих машинобудівних виробництв, є задача розміщення технологічного обладнання (ТО) в межах гнучких виробничих комірок (ГВК). ГВК є технологічними складовими гнучких виробничих систем і можуть мати різні форми технологічної реалізації та структурну будову. Актуальним та відносно мало дослідженим завданням є розміщення ТО в даних ГВК, де транспортування об'єкта виробництва (ОВ) між одиницями ТО (міжагрегатне транспортне або технологічне обслуговування) здійснюється промисловими роботами (ПР). Такі ГВК є структурно-подібними до роботизованих технологічних комплексів. Вирішення завдання розміщення ТО в таких ГВК полягає у визначенні положення та орієнтації кожної одиниці обладнання відносно ПР, що їх обслуговують, а також координат опорних точок траєкторії маніпулювання ПР в межах робочих зон (РЗ) одиниць обладнання та біля них (точок початку входу в РЗ та закінчення виходу з РЗ). Особливостями даного завдання є необхідність врахування при визначенні місцеположення ТО множини технічних та технологічних вимог до експлуатації ТО, геометричних обмежень на розміщення окремих або всіх одиниць ТО, а також геометричних, технічних та технологічних зв'язків між окремими одиницями ТО. Серед названих вимог однією з ключових є необхідність забезпечення розташування всіх опорних точок траєкторії ПР в межах його РЗ, тобто геометричне узгодження ТО із формою РЗ ПР, яка в загальному випадку може мати складну просторову форму. Розповсюдженим випадком є такий, коли вертикальний переріз такої РЗ є довільною фігурою, що обмежується ділянками різних кривих. Такі РЗ ПР варто називати РЗ складної форми або складними РЗ (на відміну від тих РЗ, вертикальний переріз яких є простою фігурою, зокрема прямокутником чи квадратом). Розміщення ТО нерозривно пов'язано із завданням планування траєкторії ПР, реалізація якої безпосередньо впливає з результатів розміщення, та за якою оцінюють ефективність самої задачі розміщення, в тому числі висуваючи завдання оптимального розміщення ТО за умови мінімуму довжини сумарних переміщень захватного пристрою ПР (мінімуму протяжності траєкторії маніпулювання). Через наявність технологічного зв'язку між одиницями ТО, що розміщуються, та необхідність прокладання траєкторій в межах РЗ ПР, варіація розміщення ТО у вертикальному перерізі РЗ ПР призводить до різного значення довжини сумарних переміщень ПР, що обумовлює задачу оптимізації на даному етапі розміщення. З іншого боку, різний порядок розташування ТО вздовж траєкторії міжагрегатного переміщення (ТМП) ПР (варіація розміщення на множині перестановок) призводить також до різного значення довжини міжагрегатних переміщень ПР, що визначає задачу оптимізації розміщення на етапі розміщення вздовж ТМП.

Таким чином, **метою** даної роботи є представлення програмного продукту, що виконує автоматизоване розміщення ТО ГВК серед інших завдань синтезу компонувальних структур ГВК з оцінкою їх ефективності засобами імітаційного моделювання, а також представлення результатів досліджень ефективності цих завдань.

Розроблений програмний продукт (ПП) в цілому дозволяє виконувати наступні укрупнені завдання синтезу та аналізу при проектуванні ГВК:

1. Розміщення ТО відносно ПР, що має в горизонтальній площині прямокутну декартову або полярну систему координат та довільну форму РЗ у вертикальній площині (перше завдання синтезу).

2. Формування (синтез) послідовностей обслуговування ТО промисловим роботом, тобто технологічного маршруту обслуговування робочих позицій ГВК згідно з заданими стратегіями обслуговування (друге завдання синтезу).

3. Визначення параметрів циклової продуктивності (тривалість циклу, власне циклову продуктивність, коефіцієнти використання ТО тощо) для одного циклу роботи (у встановленому режимі роботи) та для всієї партії виробів (усереднені параметри циклової продуктивності, а також загальний час обробки партії ОВ, тривалість виходу на встановлений режим, тривалість завершення роботи тощо) методом імітаційного моделювання (ІМн) – завдання аналізу. При цьому може автоматично формуватися таблиця переходів (дій) ПР при роботі ГВК, що визначає склад переміщень ПР, рух ОВ, роботу ТО в циклі тощо.

Для автоматизованого вирішення завдання розміщення розроблено формалізований опис (ФО) РЗ ПР, що викладений в попередніх роботах. Розроблений ФО безпосередньо дозволяє описати будь-яку необхідну фігуру перерізу РЗ ПР та є основою для виконання різного роду математичних розрахунків засобами аналітичної геометрії, необхідних для пошуку оптимальних варіантів розміщень, зокрема для перевірки належності будь-якої довільної точки фігури перерізу ПР, визначення найближчої точки до границі фігури перерізу від довільної точки, розрахунку меж фігури перерізу РЗ для даної висоти чи даної глибини тощо.

Оптимальне розміщення ТО ГВК виконується в два етапи. На *першому* етапі виконується розміщення ТО у вертикальній площині, перпендикулярній ТМП ПР із оптимізацією на множині можливих висот прокладання ТМП за критерієм мінімуму сумарної довжини переміщень ПР. На *другому* етапі виконується

розміщення вздовж ТМП з оптимізацією на множині порядків розташування ТО за критерієм мінімуму тривалості циклу ГВК, що виражає результуючу продуктивність. Для визначення даного показника для кожного спроектованого варіанта виконується ІМн. Результати розміщення на кожному з двох етапів представляються в табличній формі та можуть бути упорядковані за використаними критеріями оптимізації. Також результати можуть бути візуалізовані графічно, тобто у вигляді креслення, що дозволяє візуально оцінити геометрію розташування ТО та опорних точок траєкторій ПР. В результаті подальшого розвитку ПП він доповнений можливостями представлення значень показників ефективності розміщення (критеріїв етапів розміщення) у вигляді графіків функцій: на першому етапі – залежності сумарної та складових довжин переміщення ПР на множині висот прокладання ТМП, на другому етапі – тривалості циклу на множині варіантів перестановок ТО. Графічна форма представлення функцій ефективності розміщення дозволяє наочно оцінити співвідношення найгірших та найкращих результатів розміщення на кожному з етапів та всього завдання в цілому. Дослідження показали, що перевага найкращих результатів перед найгіршими у тестових прикладах може досягати 1,5–2 разів та більше, а в цілому залежить від вихідних даних завдання.

Розроблений ПП дає можливість ефективно виконувати оптимальне розміщення одиниць ТО у вертикальній площині за критерієм мінімальної сумарної відстані між опорними точками траєкторії руху ПР, що, в свою чергу, дозволяє виконувати оптимальне розміщення ТО в цілому відповідно до критеріїв найкращих показників продуктивності. ПП, в основному, призначений для вирішення завдань синтезу оптимальних проектних рішень, хоча за необхідності може використовуватися для синтезу одного задовільного варіанта або лише для аналізу існуючих варіантів ГВК.