

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.
О.В. Підтиченко, асист.

Житомирський державний технологічний університет

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ З РОБОЧОЮ ЗОНОЮ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Представлено концепцію та методику автоматизованого розв'язання задачі розміщення технологічного обладнання гнучких виробничих комірок відносно промислового робота (ПР) з оптимізацією за рядом прийнятих критеріїв. Представлено програмну реалізацію даної задачі для ПР, що має робочу зону (РЗ) складної форми. Представлено ідею аналітичного опису поверхні РЗ ПР складної форми та інтерактивний редактор для його автоматизованого формування.

Постановка проблеми. Одним із напрямків автоматизації машино- та приладобудівного виробництва, який базується на використанні роботизованих технологій, є впровадження гнучких виробничих систем (ГВС). З іншого боку, проектування ГВС та їх складових є складною, багатоваріантною та трудомісткою задачею, що вимагає врахування значної кількості технічних та економічних вимог, критеріїв та обмежень [1, 2, 9]. Особливе значення має те, що ієрархічна будова ГВС, що містять в своєму складі гнучкі виробничі модулі та гнучкі виробничі комірки (ГВК) у різних поєднаннях, та наявність множини технологічних, транспортних, геометричних, енергетичних та інших зв'язків, визначає ГВС як складні технічні системи [9]. Все це вказує на доцільність та актуальність розробки засобів автоматизованого проектування ГВС та їх складових, що дозволяє суттєво зменшити трудомісткість проектування та одночасно підвищити якість рішень, що приймаються.

При проектуванні нових та роботизації існуючих виробництв однією з важливих завдань є розміщення технологічного обладнання (ТО) в межах ГВК, що обслуговуються промисловими роботами (ПР) [1, 2, 8]. При цьому оптимізація розміщення може виконуватися за такими параметрами, як: сумарна відстань між одиницями ТО або опорними точками траєкторії маніпулювання ПР; довжина циклової траєкторії маніпулювання ПР із врахуванням послідовності обслуговування ТО; показники продуктивності, сумарних енерговитрат ПР в циклі роботи; площа, яку займає ГВК, тощо [1, 9]. Особливостями даної задачі є необхідність врахування при визначенні місцезнаходження ТО (тобто при реалізації розміщення) множини технічних та технологічних вимог до експлуатації ТО, геометричних обмежень на розміщення окремих або всіх одиниць ТО, а також технічних та технологічних зв'язків між окремими одиницями обладнання. До останніх належать, наприклад, технологічний маршрут обробки деталі (ТМОД) та прийнята стратегія обслуговування ТО, що визначає склад рухів (послідовність дій ПР при транспортному обслуговуванні ТО) та циклову траєкторію ПР [4]. Разом з тим, так само, як при вирішенні багатьох інших прикладних задач розміщення (наприклад задач типу “щільної упаковки”), ефективність отриманого рішення залежить від послідовності, в якій розміщуються об'єкти (в даному випадку об'єктами є одиниці ТО). Все це визначає задачу розміщення ТО як задачу дискретної оптимізації на перестановках із наявністю обмежень [7, 9, 10].

Мета дослідження. Таким чином, метою даної роботи є представлення запропонованого концептуального підходу, методики та програмної реалізації автоматизованого розміщення ТО ГВК із врахуванням множини критеріїв, факторів та обмежень, що відтворюють особливості предметної області.

Стан проблеми, аналіз літературних джерел та попередніх розробок. У більшості літературних джерел з механоскладальних та механообробних ГВС [2, 8, 13] даються поняття ГВС та їх складових, огляди структур, схеми та описи їх функціонування, але увага проблемам проектування, особливо автоматизованого, приділяється недостатньо.

В окремій літературі з проблем проектування та організації роботи механообробних ГВС та ГВК [1, 7, 9] важливе місце приділяється проблемі розміщення ТО відносно ПР, що виконує його транспортне обслуговування – переміщення об'єкта виробництва (деталі) між одиницями обладнання: забирання з вхідного накопичувача або попередньої позиції механообробки, переміщення до наступного за ТМОД ТО, встановлення деталі для виконання наступної операції та зняття її для переміщення на наступну позицію обробки або у вихідний накопичувач.

Зокрема в [1] висвітлено зміст та постановку задачі проектування роботизованих технологічних комплексів (РТК) та в межах даної задачі показано місце і сформульовано постановку задачі побудови плану розміщення обладнання (надалі – задачі планування ТО). Враховуючи, що РТК є близькими до ГВК структурними одиницями ГВС, то надалі будемо вести мову лише про ГВК, вважаючи, що для останніх є правдивим все, що стосується РТК. В [1] розглянуто варіанти компонувань ТО (лінійне, полярне; з об'єднаним та роздільними входами/виходами; одно-/дворядне тощо), розглянуто організацію

транспортно-накопичувальної системи ГВС, що може взаємодіяти з обслуговуючим ПР ГВК. Представлено два типи базових компоновань ГВК, що визначають два можливих критерії розміщення ТО щодо циклової траєкторії переміщення ПР: компоновання з мінімумом кількості точок позиціонування (МКТП) по кожній ступені рухомості ПР – для ПР з цикловими системами керування, та компоновання з мінімальною довжиною траєкторії переміщення (МДТП), що визначається як мінімум суми попарних відстаней між сусідніми опорними точками траєкторії руху ПР: точками входу/виходу захватного пристрою (ЗП) ПР в/з робочої зони (РЗ) сусідніх одиниць ТО, а також крайніми точками руху встановлення/зняття деталі в ТО. Розглянуто питання наявності декількох ПР в ГВК та варіанти орієнтації ТО відносно траєкторії переміщення ПР між сусідніми одиницями ТО – траєкторією міжагрегатного переміщення (МП). Запропоновано послідовності, схеми та алгоритми проектування ГВК, розміщення ТО в ГВК з одним ПР. При цьому відзначається вплив послідовності розміщення на результуючі показники, зокрема на довжину траєкторії ПР. Загалом до задачі планування ГВК включено етапи: вибір порядку розташування ТО, вибір орієнтації ТО відносно ПР, побудова ділянок траєкторії ПР біля кожної одиниці ТО, розробка лінійного чи полярного планування, компоновання ГВК з окремих ділянок, кожна з яких містить одне ТО. Також відмічено, що геометричне узгодження одиниць ТО та ПР змістовно включає дві вимоги: сумісність рухів ЗП з напрямком встановлення/зняття в ТО та відсутність зіткнень ПР з ТО. Проте не висвітлено питання досяжності ПР необхідних точок траєкторії в межах ТО, тобто задачі забезпечення потрапляння ТО в РЗ ПР, що є досить актуальним питанням, якщо РЗ ПР у вертикальному перерізі (перпендикулярному до руху переміщення між ТО) є непрямокутною. Такі РЗ будемо надалі називати РЗ складної форми. Для таких РЗ висота та глибина залягання ТО (відстань від траєкторії МП ПР до ТО в горизонтальній площині) є взаємопов'язаними, варіація однієї з цих величин може визначати різну сумарну довжину ділянок траєкторії ПР по висоті та вглибину ТО.

В [7] висвітлено питання розміщення ТО в ГВК в загальному, а також дано два варіанти класифікації даної задачі з математичної точки зору: як лінійну або квадратичну задачу про призначення. Хоча дано ряд коментарів та рекомендацій до даної задачі, методика її розв'язання не висвітлена.

В [9] питання розміщення ТО розглянуто на рівні цехового розміщення ГВС, при цьому задачі транспортного обслуговування ТО також розглянуто не на рівні ПР, а на рівні взаємодії загальноцехової транспортної системи ГВС з окремими ділянками. Отже питання розміщення ТО відносно ПР в межах кожної ділянки не розкривається. Проте розглянуто ряд споріднених задач, що математично є комбінаторними задачами дискретної оптимізації. В [9] задачу розміщення ТО віднесено до задач структурного синтезу організаційно-технічних структур ГВС, що загалом включають побудову компоновальних структур, розміщень ТО та організацію транспортного обслуговування. Виділено ряд критеріїв та обмежень при вирішенні даних задач.

Задачі автоматизації розміщення ТО розглядаються в ряді робіт [3, 6, 10, 11, 12]. Зокрема в [10] серед інших вирішуються задачі оптимального розміщення роботизованих ділянок (подібних ГВК) в межах цехової ГВС за критерієм мінімуму транспортних переміщень. Задача класифікується як задача дискретної оптимізації на перестановках. В роботах [3, 6, 11, 12] вирішується задача автоматизованого розміщення ТО відносно ПР, що має або декартову прямокутну, або полярну систему координат (СК) в горизонтальній площині, тобто в будь-якому випадку вертикальний переріз РЗ ПР є або прямокутником, або кільцем.

Отже актуальною є задача автоматизованого розміщення ТО відносно ПР, що має РЗ складного перерізу, наприклад ПР порталного типу із горизонтальною віссю циліндричної або шарнірної СК (переріз обмежується різними кривими другого порядку), сферичною СК тощо. При цьому для певного порядку розміщення необхідно розмістити ТО якомога щільніше, а також отримати мінімальну можливу суму довжин рухів по висоті та по горизонталі в сторону ТО. Доцільним є пошук оптимального порядку розташування ТО, але не за мінімумом довжини циклової траєкторії руху ПР, а за кінцевими показниками продуктивності. Для цього в попередніх роботах [4, 5] було представлено модель ГВК для задач розміщення ТО, організації обслуговування та імітаційного моделювання з метою визначення показників продуктивності варіантів ГВК, що синтезуються.

Концепція розміщення ТО та його автоматизованої реалізації. Вирішення задачі розміщення ТО (рис. 1) передбачає визначення положення та орієнтації кожної одиниці обладнання відносно ПР, що їх обслуговують, а також координат опорних точок траєкторії маніпулювання ПР в межах РЗ одиниць обладнання та біля них (точок початку входу в РЗ та закінчення виходу з РЗ). При цьому траєкторія маніпулювання є початковим наближенням шляху, який проходить кожний предмет обробки від входу в ГВК в стані заготовки до виходу з ГВК в стані обробленої деталі, і є поєднанням ділянок переміщень ЗП ПР в межах РЗ ТО (локальні та регіональні рухи ПР), ділянок входу та виходу в/з РЗ ТО (регіональні рухи) та міжагрегатних переміщень ПР (глобальні рухи). Змістовно задача розміщення полягає у визначенні схеми компоновання ГВК (тобто визначеного складу геометричних місць під одиниці ТО та їх орієнтації), порядку розташування ТО (варіанта співставлення одиниць обладнання та визначених

місць під них), координат характерних (прив'язочних) точок ТО в системі координат ПР та координат опорних точок траєкторії маніпулювання ПР.

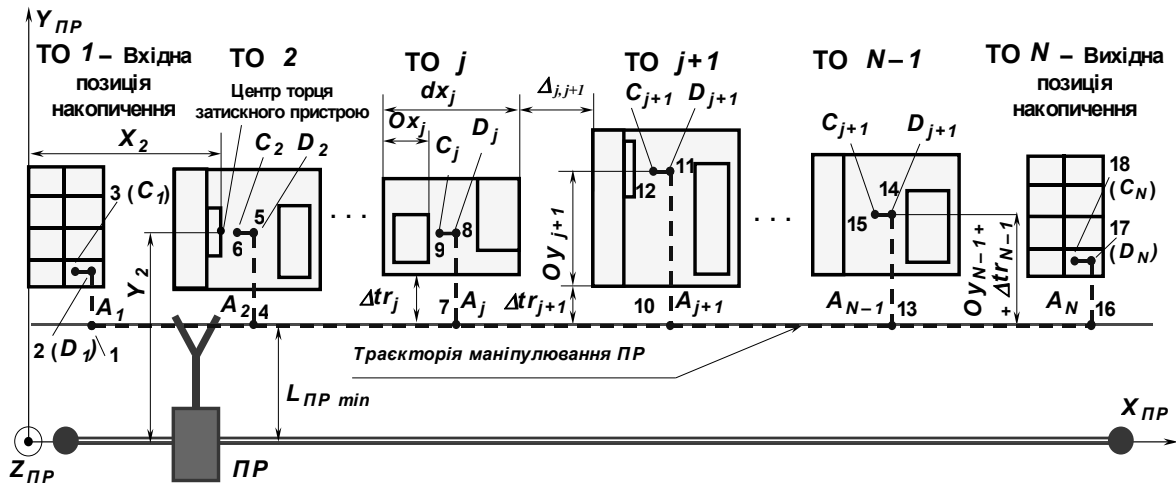


Рис. 1. Концепція розміщення ТО

Схема компоновання ГВК визначається формою РЗ ПР та його кінематикою, зокрема можливостями геометричної реалізації обслуговування ТО при його розміщенні в окремих точках РЗ ПР. Схема компоновання ТО визначає вимоги до відносного взаємного розташування ТО та орієнтацію одиниць ТО відносно ПР. Різний порядок розташування ТО по координаті X навколо ПР (варіант призначення кожної одиниці ТО на відведені місця) визначає різну протяжність ділянок траєкторії МП ПР, різну довжину загальної циклової траєкторії руху ЗП ПР (що враховує порядок обслуговування ТО промисловими роботами), а тому впливає на тривалість циклу роботи ГВК. Це обумовлено різними геометричними розмірами окремих одиниць ТО та різними вимогами до мінімальних відстаней між сусідніми одиницями обладнання. Існування порядку розташування ТО, при якому досягаються мінімум довжини траєкторії руху ПР в циклі роботи, або мінімум тривалості циклу роботи, або мінімум енерговитрат ПР тощо, створює відповідну область для пошуку оптимального порядку розміщення.

На рис. 1 позначено: точки A_j – точки траєкторії МП ПР на початку входу в РЗ ТО; D_j – точки закінчення руху входу в РЗ ТО і початку руху встановлення; C_j – точки закінчення руху встановлення деталі. Очевидно, що кожна точка описується трьома координатами: $A_j(Ax_j, Ay_j, Az_j)$. Положення одиниць ТО задається як координати точки центра торця затискного пристрою (ЦТЗП) в СК ПР (X, Y, Z). Необхідно зазначити, що при розміщенні ТО необхідно забезпечити мінімально необхідні просторові зазори між різними одиницями ТО (на рис. 1 – $\Delta_{j,j+1}$), а також між одиницями ТО та траєкторією переміщення ЗП ПР Δtr_j (з міркувань можливості технічного обслуговування ТО та відсутності небезпеки зіткнень ЗП ПР з обладнанням при переміщеннях). Координати X точок є взаємопов'язаними. Якщо визначено координати попереднього ТО, то далі визначаються опорні точки траєкторії ПР та координати наступного ТО (за умови, що деталь встановлюється впритул до торця):

$$\begin{aligned} Cx_j &= X_j + P; \quad Dx_j = Cx_j + W; \quad Ax_j = Dx_j; \\ X_{j+1} &= X_j + (dx_j - OX_j) + \Delta_{j,j+1} + OX_{j+1}. \end{aligned} \quad (1)$$

- де
- Cx – точка закінчення руху встановлення деталі;
 - X – координата ТО в системі координат ГВК (промислового робота);
 - P – відстань від точки захвату деталі ЗП ПР до лівого торця;
 - Dx – точка закінчення руху входу в РЗ ТО і початку руху встановлення;
 - W – зазор між лівим торцем деталі та торцем затискного пристрою ТО перед встановленням;
 - dx_j – довжина ТО по осі X;
 - $\Delta_{j,j+1}$ – мінімально необхідний просторовий зазор між сусідніми одиницями ТО;
 - OX – відстань від лівого кінця ТО до центра торця затискного пристрою.

Визначення координат Y та Z є набагато складнішим і залежить від форми вертикального перерізу РЗ ПР. Для аналітичного опису РЗ будь-якої форми прийнято наступне: поверхні РЗ, ближня та дальня по осі Y відносно осі OZ описуються окремо (перша названа “ближня грань”, друга – “дальня грань”); грані апроксимуються або площинами, або круговими циліндрами; якщо по вертикалі опис граней є неоднозначним, вся РЗ ділиться вздовж осі Z на шари (зони), в межах кожного з яких і ближня, і дальня

грані описуються однозначно. Необхідно зазначити, що на одній горизонталі може бути лише одна ближня і одна дальня грані даної зони, проте немає ніяких обмежень щодо взаємного розташування різних зон: можна задавати декілька зон по горизонталі, так само, як і по вертикалі, крім того, зони можуть перетинатися як по вертикалі, так і по горизонталі, що в сукупності дозволяє описати майже будь-яку форму перерізу РЗ ПР.

Реалізація геометричного розміщення по координатам Y та Z , тобто визначення геометричних координат ТО відносно ПР по висоті та в горизонтальній площині в напрямку від ПР до ТО, нерозривно пов'язана із вимогами до траєкторії маніпулювання, які, як було вище вказано, зводяться до двох критеріїв – МДТП (рис. 1) та МКТП ЗП ПР. В запропонованій розробці реалізовано критерій МДТП, що передбачає для РЗ ПР складної форми попереднє знаходження на прийнятій висоті розміщення Az Y -координати проходження траєкторії МП Ay , що визначається координатою межі горизонтального перерізу ближньої грані РЗ ПР на висоті Az . Від Ay необхідно відступити мінімально допустимому відстань Δtr_j та додати відстань по Y від точки ЦТЗП ТО до переднього краю ТО. Якщо отримана координата ТО Y_j буде виходити за дальню грань РЗ, то обладнання по можливості треба піднімати або опускати до потрапляння в РЗ. Якщо є таке ТО, що не можна поставити в РЗ ПР для будь-якої початкової висоти Az , то це означає, що таке ТО не може бути розміщене. Прийнято, що вертикальний переріз РЗ ПР не змінюється вздовж осі X . В такому випадку задачі розміщення по координатам X та $Y-Z$ можуть бути повністю відокремлені, оскільки є невзаємопов'язаними геометрично та в них застосовуються різні критерії оптимізації. Таким чином, можливим є оптимальне розміщення одиниць ТО в площині $Y-Z$ за критерієм мінімальної сумарної відстані між опорними точками траєкторії руху ПР, а також оптимальне розміщення по X (на множині порядків розміщення) відповідності до критеріїв найкращих показників продуктивності.

Для автоматизації розміщення ТО відносно ПР було розроблено відповідну методику, алгоритмічне та програмне забезпечення.

Автоматизована підготовка вихідних даних. Реалізація автоматизованого розміщення ТО передбачає наявність формалізованого опису робочих зон ПР, для яких виконується розміщення. Зокрема необхідним є аналітичний опис поверхонь РЗ ПР. Для цього запропоновано описувати границю перерізу РЗ ПР аналітично, розбиваючи всю РЗ на окремі зони, як було описано вище. При цьому контури перерізу зон апроксимуються кривими другого порядку. Оскільки автоматизоване розміщення ТО передбачає наявність аналітичного опису поверхонь (ближньої та дальньої граней) РЗ ПР, то необхідними є засоби автоматизованого формування рівнянь поверхонь для підготовки вихідної інформації, що реалізовано в розробленому візуальному редакторі РЗ ПР (рис. 2) в межах запропонованого програмного продукту.

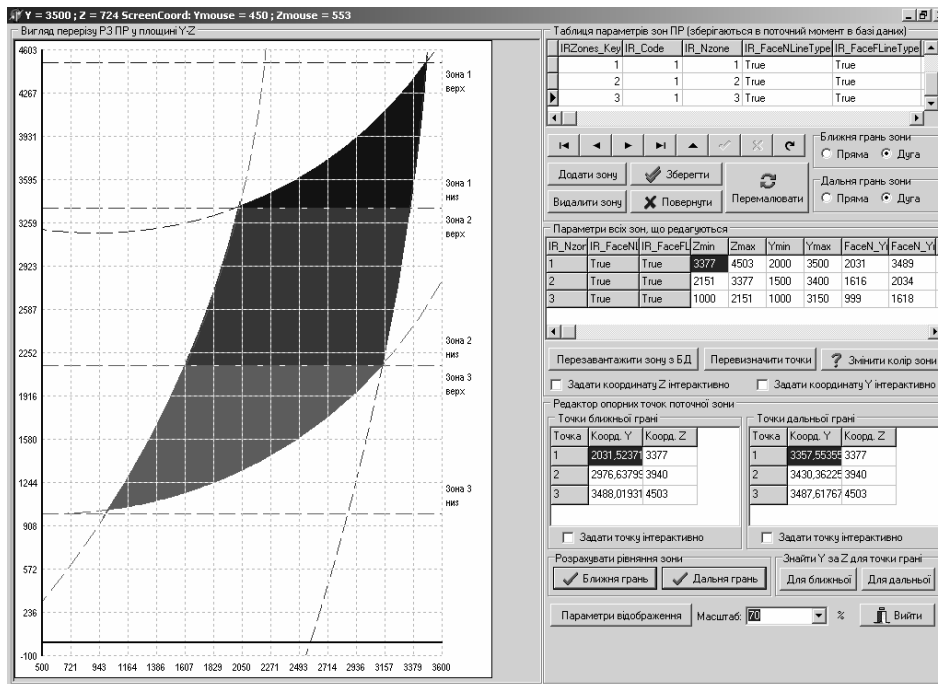


Рис. 2. Візуальний редактор РЗ ПР

Поверхні, в загальному випадку, описуються алгебраїчними рівняннями другого порядку відносно змінних Y та Z , що загалом може описувати контур відрізками прямих, дугами кіл, еліпсів, парабол та гіпербол, проте автоматизовано (на основі інтерактивного задання точок контуру) можуть бути сформовані лише рівняння прямих та дуг кіл. Загалом редактор дозволяє створювати/видаляти зони, задавати інтерактивно (комп'ютерною мишею або введенням чисел) межі зон по висоті Z та глибині Y , далі при заданні опорних точок прямих (двох) або дуг (трьох) перерізу автоматично формувати рівняння граней та зберігати їх в базі даних (БД) ПР. Редактор дозволяє створювати, редагувати та переглядати з різним масштабом перерізи РЗ ПР майже будь-якої форми. Переріз РЗ ПР може рисуватись заповненим кольорами або ні. При запусканні редактора розраховуються запропоновані опорні точки граней у відповідності до рівнянь зон, які після цього можуть редагуватися. Зміни, зроблені під час редагування, можуть бути збережені в БД або відмінені. Для полярних СК полярний кут може тлумачитися аналогічно координаті X .

Програмна реалізація розміщення ТО. Робота з програмним забезпеченням починається з формування складу ТО в ГВК (з БД основного та допоміжного ТО), формування порядків слідування одиниць ТО вздовж осі X (можуть бути сформовані всі можливі $n!$ порядків для n одиниць ТО, а також довільні порядки можуть додаватися чи видалятися) та вибору ПР з відповідної БД (рис. 3).

Програмне забезпечення використовує такі файли БД: БД ПР, БД описів РЗ ПР, БД основного та допоміжного ТО, БД порядків ТО, та БД, де зберігаються результати розміщення (БД з розміщенням по $Y-Z$ та БД з розміщенням по X відповідно до порядків ТО).

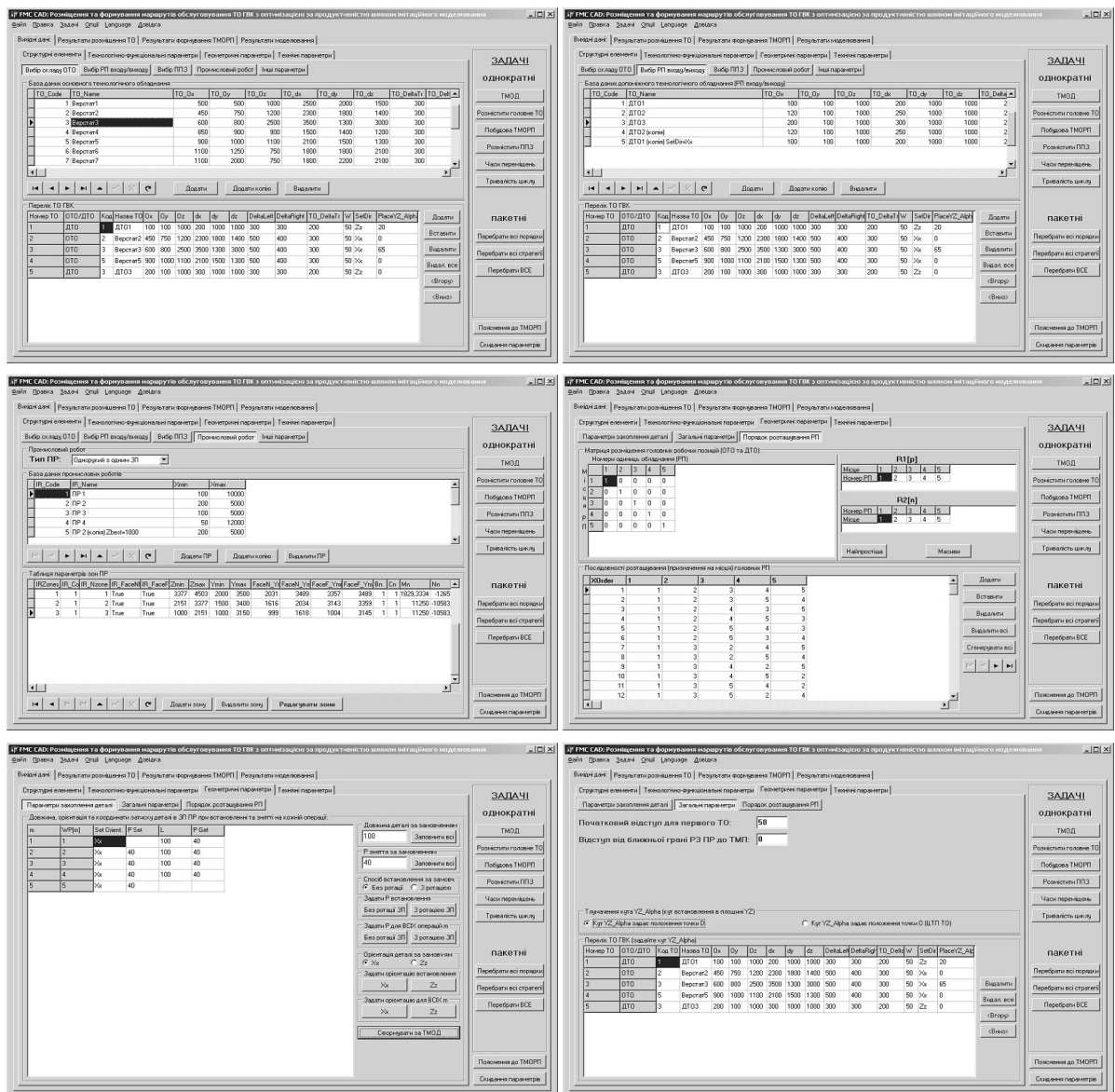


Рис. 3. Екранні форми задання вихідних даних

Також необхідно задати координати затискання заготовки захватним пристроєм ПР на кожній операції встановлення та зняття деталі з ТО, а також розмір деталі по координаті X на кожній операції. Програмно реалізовані зручні механізми для автоматизованого формування координати встановлення на наступній операції залежно від координати захоплення на попередній операції. Також задається вектор встановлення в площині Y–Z, що вказує напрямком, в якому бажано встановити ТО (розмістити ЦТЗП) відносно до координати проходження траєкторії МП ПР.

Розміщення виконується після натискання кнопки “Розмістити ТО” або “Перебрати всі порядки”. В останньому випадку задача розв’язується для всіх сформованих порядків розміщення. В результаті маємо БД з координатами ТО для всіх запропонованих висот Az траєкторії МП ПР, обраний варіант, що дає найменшу суму переміщень по Y та Z, а також результати розміщення по осі X для кращого варіанта розміщення по Y–Z (рис. 4). Якщо певне ТО має надто велику висоту точки ЦТЗП, все інше ТО та ПР піднімаються на необхідну висоту.

Результати розміщення в площині Y–Z дозволяє зручно спостерігати та аналізувати розроблена форма візуалізації результатів геометричного розміщення (рис. 5).

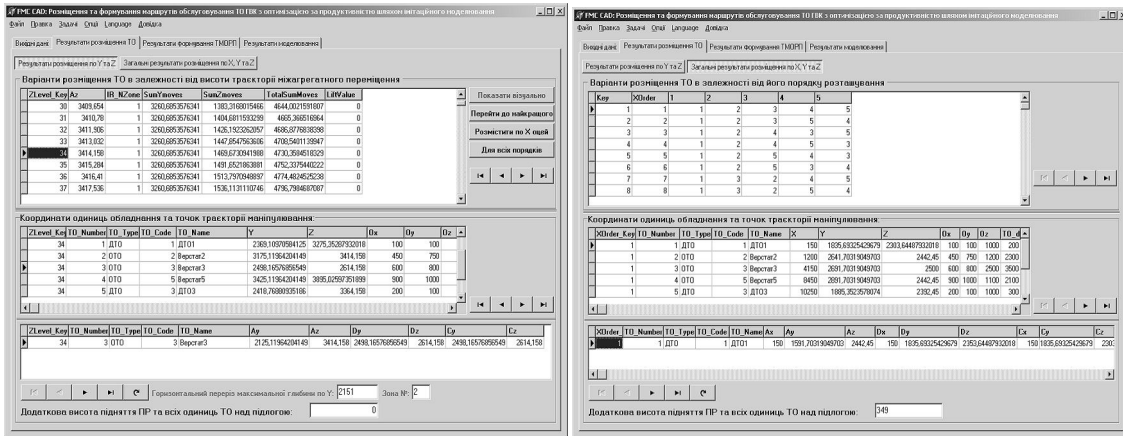


Рис. 4. Екранні форми результатів розміщення

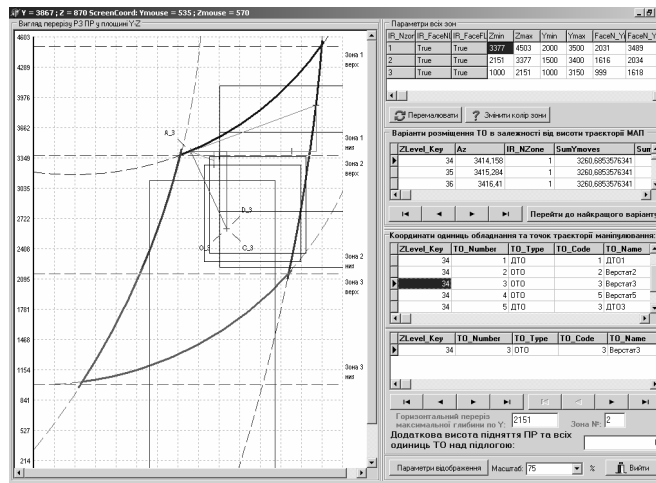


Рис. 5. Візуальне представлення результатів розміщення в площині Y–Z

Висновки. Програмне забезпечення дозволяє на даний момент виконувати оптимальне розміщення ТО при лінійному компоунанні. Для полярного компоунання необхідним є визначення механізму розрахунку полярного кута. Раніше розроблена методика та алгоритмічне забезпечення формування маршрутів обслуговування та імітаційного моделювання [4, 5], які також реалізовані в розробленому програмному продукті, дозволяють виконувати моделювання роботи та визначати параметри продуктивності сформованих варіантів ГВК, що у перспективі планується використати для відбору задовільних або найкращих варіантів розміщення ТО.

Напрямки подальших досліджень:

1. Реалізація розміщення позицій проміжкового зберігання та іншого допоміжного ТО [5].
2. Врахування запропонованих в [5] класів обмежень на геометричне розміщення ТО.

3. Програмна реалізація допоміжних задач в рамках цілісного програмного продукту, що виконує автоматизоване планування ТО ГВК, зокрема задачі визначення часів відпрацювання рухів ПР за сформованими ділянками траєкторії для наступного імітаційного моделювання роботи ГВК [4] з метою оцінки показників продуктивності спроектованих варіантів та відбору з них найкращих.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
2. Довбня Н.М., Кондратьев А.Н., Юревич Е.И. Роботизированные технологические комплексы в ГПС. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 303 с.
3. Івахненко Ю.В., Кирилович В.А., Сачук І.В. Автоматизоване формування траєкторії переміщення схвата агрегатно-модульних промислових роботів за мінімумом точок позиціонування // Вісник ЖІТІ / Технічні науки: Спец. випуск. – 2002. – С. 85–92.
4. Кирилович В., Підтыченко А. Имитационное моделирование для определения производительности гибких производственных систем // Systemy informacyjne w kształceniu technicznym. Red. Antoni Świć. – Lublin: Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 2005. – Pp. 51–56.
5. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Состав математической модели гнучких виробничих комірок для задачі автоматизованого планування обладнання // Оптимизация производственных процессов. – № 9. – 2006. – С. 46–53.
6. Кирилович В.А., Сачук І.В. Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технологічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 12. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 210–214.
7. Козловский В.А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 216 с.
8. Козырев Ю.Г., Кудинов А.А., Булатов В.Э. и др. Роботизированные производственные комплексы / Под ред. Ю.Г. Козырева, А.А. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 270 с.
9. Лицинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
10. Романов В.А. Математическое и программное обеспечение задач выбора и размещения оборудования на участке машиностроительного производства: Дис... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. – М., 1986. – 133 с.
11. Сачук І.В. Автоматизований вибір агрегатно-модульних промислових роботів для ГВС: Дис...канд. техн. наук: 05.13.20. – НТУУ "КПІ". – К., 2005. – 227 с.
12. Ivahnenkov Y., Kurylovych V., Sachuk I. Computer-aided determination of geometrical compatibility of aggregate-modular industrial robots and production machinery // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – № 196. – Mechanika. – Z. 59: Materiały III Międzynarodowej konferencji Naukowo-Technicznej, Modułowe Technologie i konstrukcje w budowie maszyn. – MTK 2002. – Poland, Rzeszow, 2002. – Pp. 173–183.
13. Keramas James G. Robot technology fundamentals. – New York, Delmar Publishers, 1999. – 408 p.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- автоматизація технологічної підготовки механоскладального машино- та приладобудівного автоматизованого виробництва;
- автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій.

Тел. (дом.): +380412-34-01-65.

E-mail: kiril_v@mail.ru

ПІДТИЧЕНКО Олександр Владиславович – асистент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання, формалізація і складання математичних моделей.

Тел. (дом.): +380412-43-04-96.

E-mail: stvwm@yandex.ru

Подано 14.11.2008

Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Автоматизоване розміщення технологічного обладнання для промислових роботів з робочою зоною складної форми.

Кирилович В.А., Підтиченко А.В. Автоматизированное размещение технологического оборудования для промышленных роботов с рабочей зоной сложной формы.

Kyrylovych V.A., Pidtychenko O.V. Automated technological equipment layout for industrial robots with working area having complicated shape.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Автоматизированное размещение технологического оборудования для промышленных роботов с рабочей зоной сложной формы / В.А. Кирилович, А.В. Підтиченко //

Представлено концепцию и методику автоматизированного решения задачи размещения технологического оборудования гибких производственных ячеек относительно промышленного робота (ПР) с оптимизацией по ряду принятых критериев. Представлено программную реализацию данной задачи для ПР, имеющих рабочую зону (РЗ) сложной формы. Представлено идею аналитического описания поверхности РЗ ПР сложной формы, а также интерактивный редактор для его автоматизированного формирования.

УДК 621.865.8+658.512.011.56

Automated technological equipment layout for industrial robots with working area having complicated shape / V.A. Kyrylovych, O.V. Pidtychenko //

The conception and methods of computer-aided solution of flexible manufacturing cells technological equipment layout relative to industrial robot (IR) with optimization by a set of accepted criteria are presented. The software realization of this task for IR having working area (WA) of complicated shape is presented. The idea of surface analytical description of IR WA having complicated shape and interactive editor for its computer-aided forming are presented.