

А.О. Скоркін, к.т.н., доц.
О.Л. Кондратюк, к.т.н., доц.
Ю.В. Малініна, асист.

Українська інженерно-педагогічна академія

МОДЕЛЬ ЗМІНИ СТАНІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РОБОТИ СИСТЕМИ СКЛАДАННЯ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБУ

Виходячи з аналізу, найбільш складною й найменш формалізованою, з точки зору математичного опису, є стаціонарна непотокова зборка з розчленуванням та без розчленування робіт, що застосовується в умовах дрібносерійного виробництва шляхом використання ручної праці з елементами механізації. При цьому вона, як правило, застосовується для формування складних машинобудівних виробів. На сьогодні ця проблема по-різному вирішуються з використанням АСПВ. Розробки в царині САПР ТП зборки сильно розрізнені, в цілому відсутня найбільш наближена до реальних проектування виробництва системна концепція процесу проектування ТП зборки в САПР. Одним зі шляхів подолання цих проблеми є технологічна підготовка виробництва, що базується на спрямованому формуванні варіантів технологічних процесів складання і аналізі найбільш перспективних варіантів шляхом імітаційного тривимірного моделювання виробничого середовища.

Ключові слова: моделювання; машинобудівний виріб; деталь; система дрібносерійної зборки.

Постановка проблеми. В імітаційному моделюванні поняття "регламентація" містить: "просування" часу, або коригування тимчасової координати стану системи, і забезпечення узгодженості різних об'єктів і подій в системі [1]. Оскільки дії, що виконуються різними об'єктами, залежать від дій і станів інших елементів, вони мають бути скоординовані в часі, або синхронізовані.

Таким чином, функціонування моделі повинне протікати в штучному часі, забезпечуючи появу подій в належному порядку і з належними тимчасовими інтервалами між ними.

За методом фіксованого часового кроку, відлік системного часу ведеться через заздалегідь визначені часові інтервали постійної довжини (моделювання протікає в звичайному часі з фіксованим кроком).

При моделюванні роботи систем зборки виробів в умовах дрібносерійного виробництва обрана модель опитування стану моделі із заданим кроком Δt . Це рішення обґрунтовується наступними чинниками:

– виходячи з кількості компонентів системи зборки, що здатні генерувати істотні події, можна сказати, що існує багаторівневе моделювання: верхній рівень – транспортна система і система управління ділянки (цехи), середній рівень – транспортні системи управління окремих модулів, нижній рівень – транспортна система, система зборки і управління окремих верстатів;

– весь час коливається кількість подій на одиничному інтервалі часу, що породжується кожним елементом системи дрібносерійної зборки (СДЗ);

– середня тривалість подій не має строгого математичного опису, оскільки вона залежить від цілого ряду випадкових чинників (моментів запуску окремих СДЗ, виконуваних операцій, порядку роботи й обслуговування транспортними модулями елементів СДЗ та ін.).

Досвід розрахунків характеристик СДЗ показує, що усі часові параметри (тривалість зборки, транспортування, контролю та ін.) без істотної втрати точності можна округлювати до секунд і, отже, з урахуванням нерівномірності настання подій, за такт опитування стану системи складання можна прийняти одну секунду.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Тенденції розвитку сучасного виробництва, що полягають у безперервному збільшенні випуску виробів як за номенклатурою, так і за об'ємом, призводять до неухильного росту питомої трудомісткості складальних операцій і, отже, до зростання потреб у виробничих площах та збільшенні чисельності робітників, що зайняті на складальному виробництві.

Продуктивність праці на складальному виробництві також опиняється залежною від суб'єктивних чинників й її рівень має тенденцію періодичної зміни. Відповідно до цього, потрібна корекція виробничих завдань і розробка організаційно-технічних заходів для забезпечення необхідної тривалості, що до випуску продукції [1, 2]. На сьогодні процес проектування складальних технологічних процесів у САПР може бути представлений наступним чином: 1) вибір методу досягнення заданої точності зборки; 2) декомпозиція виробу (складальної одиниці) відповідно до їх технологічної структури; 3) вибір базових деталей для вузлової та загальної зборки; 4) виділення в конструкції розмірних ланцюгів, їх розрахунок за методиками, що задаються користувачем, інтерпретація результатів розрахунку; 5) формування власне ТП зборки, його маршрутно-операційного

викладу, технічне нормування; 6) вибір і оптимізація варіантів ТП зборки відповідно до заданих критеріїв (цільових функцій); 7) оформлення технологічної документації на спроектований ТП [3].

При цьому ефективність складального процесу визначається наступними складовими: якістю зборки; продуктивністю системи зборки; витратами на реалізацію складального процесу. А управління цими параметрами реалізується на етапах: конструкторської підготовки виробу; технологічної підготовки виробничого процесу; організаційної та технічної підготовки процесу зборки. Тому створення ефективного ТП СБ з комплексним обліком приведених чинників є актуальною проблемою технології машинобудування.

Постановка завдання. Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості проектування технологічних процесів зборки на основі імітаційного тривимірного моделювання.

Викладення основного матеріалу. Будь-який елемент СДЗ (стапель, складальне устаткування або оператор) є об'єктом, робота якого моделюється. Час роботи розраховується заздалегідь, в моделі переходу і триватиме доти, поки не буде отримано дозвіл на переривання.

Кожен об'єкт має ознаки, за якими детально його описують (умови виконання правил). Ознаками місця зборки слугують режими зборки і набір виконуваних операцій.

Спосіб, за якого об'єкти в системі моделювання переходять з одного стану в інший, описується графіком циклу роботи (діаграма Ганта) і може бути ілюстрований схемою, наведеною на рисунку 1. Згідно зі схемою, стан системі складання в цілому характеризується станами складальної, транспортної і складської підсистем. Перехід від однієї підсистеми до іншої регламентується маршрутною технологією складання. Ця послідовність формується монітором імітаційного моделювання, що формує напрямок і послідовність опиту станів підсистем.

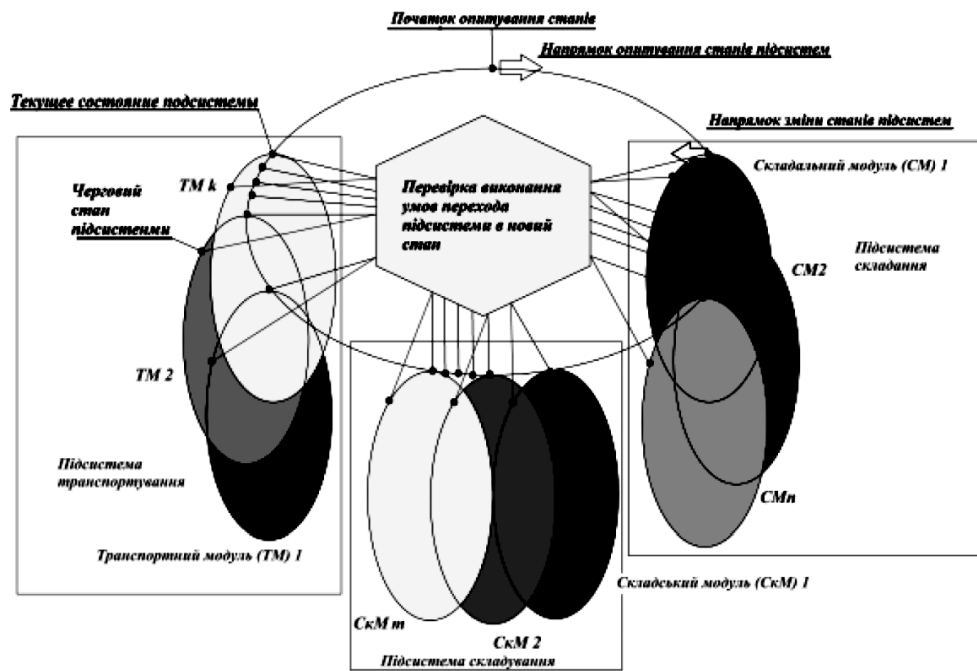


Рис. 1. Схема імітаційного моделювання складальних процесів машинобудівних виробів в умовах дрібносерійного виробництва

Кожна з підсистем функціонує за своїми правилами. Крім того, є правила, що переводять одні підсистеми в активний стан, а інші – в пасивний. При цьому, залежно від технологічного процесу, в системі моделювання окремими підсистемами можуть виконуватись незалежні технологічні процеси, що пов'язані з паралельним виконанням незалежних переходів і операцій. Ці положення формально можна представити наступною предикатною формою. Позначимо технологічні твердження як T_n , правила, які необхідно виконати, щоб підсистема перейшла із одного стану в інший, як P_m . Тоді предикатний запис переходу підсистеми, що моделюється, із одного стану в інший (виконання правила P_m) за умов T_n можна записати у вигляді:

$$T_n | P_m.$$

Розглянемо умови виконання правил переходу підсистем у різні стани.

Складальна підсистема є основною, з точки зору виконання функцій СДЗ. Її стани (P_j^{ob}) залежать від процесу складання (1):

$$P_j^{ob} \ni \left\{ \begin{array}{l} T_2 | P_3, \\ T_3 \wedge T_4 \wedge P_{15} | P_{14}, \\ T_7 \wedge T_8 | P_{15}, \\ T_{10} | P_{16}, \\ T_{10} \wedge T_{11} | P_{17}, \\ T_{12} | P_{18}, \\ T_{14} | P_{19}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Складська підсистема формує послідовність складання вузлів на виробничій дільниці і контролює черги перед робочими місцями. Її стани (P_j^{sk}) залежать від планування процесів складання за їхніми маршрутами та від черг, що можуть утворитися біля робочих місць в процесі виконання планових завдань (2):

$$P_j^{sk} \ni \left\{ \begin{array}{l} P_4 | P_3, \\ T_2 | P_2, \\ T_3 | P_4, \\ P_8 | P_7, \\ T_3 | P_{11}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Транспортна підсистема виконує роль системи запуску СС або СДЗ з затримкою на логістичні операції. Як вже було помічено, управління нею виконується двома чинниками: планом складання і послідовністю складання, що задається маршрутом складання. Виходячи з цього, її стани (P_j^{tr}) залежать від планування процесів складання, маршрутів складання, наявності запитів на переміщення складальних партій (3):

$$P_j^{tr} \ni \left\{ \begin{array}{l} T_3 | P_4, \\ T_4 | P_5, \\ P_4 | P_6, \\ T_3 | P_8, \\ P_{11} | P_9, \\ T_7 | P_{10}, \\ T_9 | P_{12}, \\ T_{10} | P_{13}, \end{array} \right. \quad (3)$$

Тоді процес функціонування системи дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів (СДЗ СМВ) можна описати як перехід СДЗ в різні стани доти, доки не будуть сформовані всі складальні партії:

$$\forall_{j \in J} P_j^{ob} \forall_{i \in I} P_i^{sk} \forall_{l \in L} P_l^{tr} \exists P \left\{ \left[[P \cup P_j^{ob}] \vee [P \cup P_i^{sk}] \right] \cup P_l^{tr} \Rightarrow (x_4 \equiv x_7) \right\}, \quad (4)$$

Залежність (4) дає можливість побудувати механізм пошуку часових структур СДЗ, які можуть складатися в системі моделювання під впливом організаційних, технічних і технологічних змін в системі складання.

Інформаційна модель процесу проектування складання вузла (рис. 2) характеризується трьома етапами перетворень. На першому етапі розглядаються будь-які впорядковані пари деталей. Розглянуті інформаційні моделі являють собою завдання проектування у вигляді послідовності математичних завдань проектування інформації з вказівкою для кожного завдання початкових і отримуваних великих

кількостей. Інформаційна модель дозволила розглянути порядок перетворення інформації при рішенні завдань. Кожен етап перетворення в інформаційній моделі представлений Декартовим добутком, що окреслює необхідність визначення надалі умов (функцій, процедур) формування підмножин з елементів розглянутих Декартових добутків.

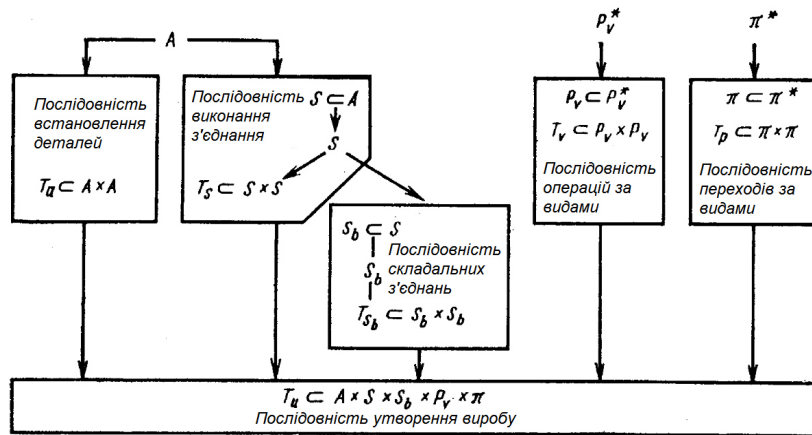


Рис. 2. Інформаційна модель процесу проектування складання вузла

Інформаційна модель дозволила виявити основні математичні категорії завдання (множини і існування стосунків). Таким чином, інформаційна модель стає необхідним етапом для побудови формальної схеми рішення задачі, що поставлена.

Завдання узгодження алгоритмів роботи окремих складальних ділянок з урахуванням часових співвідношень, що характеризують їх реалізацію в системі складання, в моделі вирішена за допомогою введення проміжних станів устаткування, тривалість переходів, між якими існує одна й та сама величина відрізка часу для усіх елементів системи зборки.

Для узгодження системного часу з реальним в моделі СДЗ СМВ введені проміжні стани, що є прохідними і розраховуються через однакові проміжки часу (рис. 3).

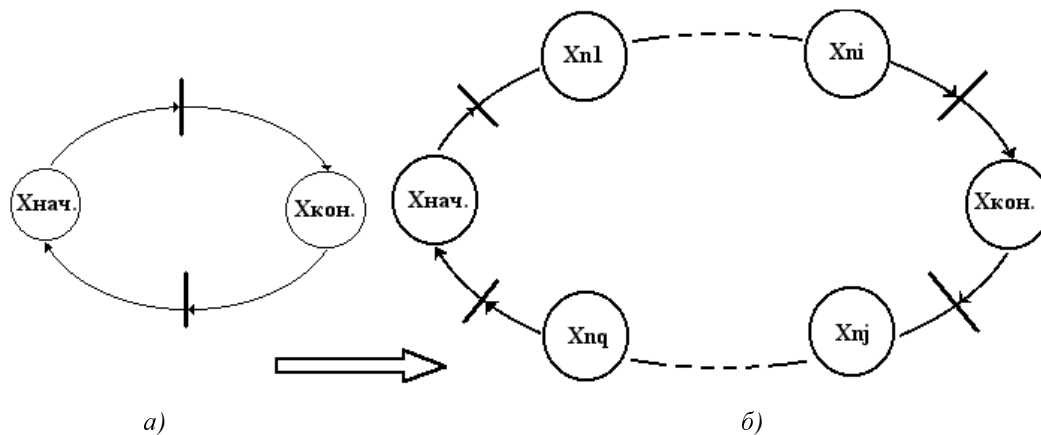


Рис. 3. Моделювання динаміки зміни станів елементу СДЗ СМВ:
а) простий цикл, що моделює динаміку зміни станів елементів СДЗ СМВ;
б) цикл з проміжними станами

Аналітичний опис взаємозв'язку елементів СДЗ СМВ зводиться до обчислення тактів доопрацювання одного з кожної пари пов'язаних елементів до погодженого положення: якщо два пов'язані за об'єктом виробництва елемента не знаходяться в один і той самий такт часу в зв'язаних станах, то таке розузгодження спричиняє необхідність проведення процедури синхронізації: один з елементів повинен чекати, інший — завершити відповідну операцію (наприклад, синхронізація роботи пари складальників).

Геометрично цей процес можна представити у вигляді двох кіл S_1 , що обертаються відносно своїх центрів в позитивному напрямі в процесі зміни системного часу n , що знаходяться в зв'язаному стані (точка $x_x = x_y = +1$, рис. 4).

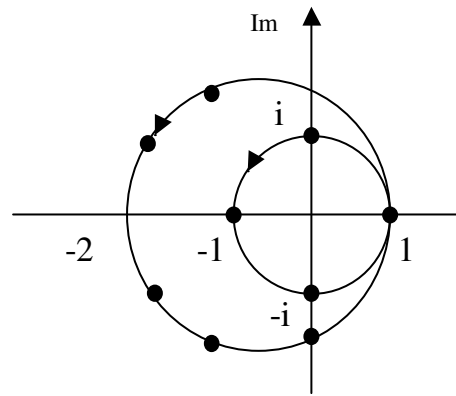


Рис. 4. Параметризація моделі складальник—вузол

У фізичному аспекті ситуації при непотоковому складанні без переміщення показують, що якщо два підвузли, що встановлюються у вузол, взаємопов'язані, то другий складальник чекає, поки перший складальник не закінчить технологічний перехід.

Іншими словами, правило синхронізації для кожного елемента полягає в тому, щоб «допрацювати і зачекати». Для цього за відомим станом кожного елемента у момент часу n обчислюється кількість тактів доопрацювання v_k , і v_s до погодженого стану (5):

$$\left. \begin{aligned} v_k &= m_k - q_k \\ v_s &= m_s - q_s \\ m_{k(s)} &= \frac{T_{k(s)}}{\Delta} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

де $q_k \in \{0, 1, 2, \dots, m_k\}$ і $q_s \in \{0, 1, 2, \dots, m_s\}$ – параметри, що задають початкові стани елементів x_k і x_s ; $m_{k(s)}$ – частка від ділення тривалості робочого циклу до (s) -го елемента СДЗ СМВ ($T_{k(s)}$) на найменший загальний дільник (Δ) чисел: $T_1, T_2, \dots, T_k, \dots, T_s$.

Операційний граф, що задає послідовність переходу вузла від одного складальника до іншого, упорядковує активність елементів відповідно до наступних правил: 1) для кожної пари зв'язаних елементів один є передавальним, інший, що приймає об'єкт виробництва (складальний вузол), – приймаючим; 2) приймаючий елемент починає функціонувати лише після того, як обидва опиняться у зв'язаних станах. Іншими словами, для двох зв'язаних елементів (v_k – подає і v_s – що приймає) стан елемента v_s починає змінюватися лише тоді, коли дорівнюватиме нулю величина ε_{ks} (6):

$$\varepsilon_{ks} = \max(v_k, v_s). \quad (6)$$

Тоді стан $X_s^{(n)}$ можна представити у вигляді (7).

$$\left\{ \begin{aligned} x_s^{(n)} &= C_s e^{i \frac{2\pi}{m_s} (q_s + n\psi(\varepsilon_{hs}))} + a_s, \quad n = 0, 1, \dots, \\ \psi_{hs} &= \psi(\varepsilon_{hs}) = 1 - \frac{\varepsilon_{hs}}{|\varepsilon_{hs}|}. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Таким чином, елемент x_s , починаючи функціонування з початкового стану q_s , що відповідає пов'язаному з x_k стану цього елемента, описує повний робочий цикл тривалістю m_s .

Функція Ψ_{hs} відіграє роль управління для заздалегідь невизначених ситуацій при моделюванні паралельних процесів. При цьому «запуск» елементів (процесів) регулюється системою семафорів Дейкстри, що представлені за допомогою змінних ε_{hs} і функцій ψ_{hs} .

Використання наведених вище співвідношень дозволяє знайти оптимальні початкові умови у завданні мінімізації сумарного часу очікування елементів. При імітаційному моделюванні систем дрібносерійної

непотокової зборки обрана модель із заданим кроком дискретизації часу моделювання Δt . Це рішення обґрунтовано наступними чинниками:

- виходячи з кількості компонент системи зборки, здатних генерувати істотні події, можна стверджувати, що існує багаторівневе моделювання реального процесу, верхній рівень якого – транспортна система, що є системою управління матеріальними потоками складальної ділянки; середній рівень – транспортні системи в межах окремих робочих місць; нижній рівень – окремі складальники, що використовують засоби механізації в процесі зборки вузла;

- кількість подій на одиничному інтервалі часу, що породжується кожним з елементів СДЗ, увесь час змінюється;

- середня тривалість подій не має строгого математичного опису, оскільки вона залежить від цілого ряду випадкових чинників (моментів початку роботи окремих складальників, порядку їх роботи й обслуговування транспортними модулями елементів СДЗ та ін.).

На наш погляд, найбільш раціональним є вибір моделі СДЗ з фіксованим кроком опиту станів моделі ($\Delta t = 1$ с). Досвід розрахунків характеристик СДЗ показує, що усі часові параметри (тривалість складання, транспортування, налагоджування устаткування та ін.) без істотної втрати точності можна округлювати до секунд.

Висновки. Проведені дослідженнями щодо проектування технологічних процесів зборки на основі імітаційного тривимірного моделювання дали можливість в подальшому сформульовані область дослідження та обмеження на розробку моделей функціонування системи зборки машинобудівних виробів, що дозволить мінімізувати час на створення технологічних процесів зборки машинобудівних виробів. Сформульовані основні положення методики оптимізації організаційно-технологічної структури зборки машинобудівних виробів на основі імітаційного 3D-моделювання, а також принципи функціонування системи зборки машинобудівних виробів, що в подальшому дозволить формалізувати принципи її дії та підвищити ефективність самого процесу зборки на всіх його етапах.

Список використаної літератури:

1. *Бысов С.А.* Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов / *С.А. Бысов, Е.Н. Малышев* // Наука и образование. – № 3, март. – 2012. – С. 1–13.
2. *Ванин В.А.* Проектирование технологических процессов механической обработки и сборки : учеб. пособие / *В.А. Ванин, А.Н. Преображенский, В.Х. Фидаров*. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 172 с.
3. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении / *А.В. Воронин, А.И. Гречухин, А.С. Калашиников* и др. – М. : Машиностроение, 1985. – 272 с.
4. *Завгородня Т.П.* Моделювання процесів праці на рівні робочих місць / *Т.П. Завгородня, А.Ю. Мазарчук* // Вісник технол. ун-ту Поділля. – № 2. – 1998. – С. 76–80.
5. *Кузьмин В.В.* Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения : учеб. пособ. / *В.В. Кузьмин, А.Г. Схиртладзе*. – М. : Высш. шк., 2008. – 279 с.
6. *Лучкин В.К.* Диалоговое проектирование технологических процессов в САПР ТехноПро : учеб. пособие / *В.К. Лучкин*. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 112 с.
7. *Юровский С.А.* Методические рекомендации по расчету на ЭВМ норм времени на базе микроэлементных нормативов / под ред. *С.А. Юровского, В.Х. Педро* // Нормативно-производственное издание. – М. : Экономика, 1989. – 54 с.

СКОРКІН Антон Олегович – доцент кафедри Металорізального обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків.

Наукові інтереси:

- 3-D моделювання;
- технологія складальних процесів;
- САПР.

Тел.: 093-464-62-39.

E-mail: Andrameda862@mail.ru

КОНДРАТЮК Олег Леонідович – доцент, завідувач кафедрою Металорізального обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків.

Наукові інтереси:

- фінішна обробка складнопрофільних поверхонь за рахунок керування рухами.

Тел.: 050-977-95-67.

E-mail: kondratuk_uira@i.ua

МАЛІНІНА Юлія Володимирівна – асистент кафедри Металорізального обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків.

Наукові інтереси:

- важельні механізми;
- синтез кулачкових механізмів.

Тел.: 063-905-00-51.

Стаття надійшла до редакції 18.08.2015