

$$W_{rk} X_{j\rho\gamma r}^i X_{j\rho\gamma k}^i = 1; \quad k = \overline{1, r-1};$$

$$k = r + 1, r_\gamma; \quad \forall W_{rk} = 1; \quad (14)$$

- требуемый объем общей памяти ПЗУ ПС не должен превышать заданного $V_3^{ПЗП}$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{j^i} \sum_{\rho=1}^{\rho^j} \sum_{\gamma=1}^{\gamma^\rho} \sum_{r=1}^{r_\gamma} V_r^{ПЗП} X_{j\rho\gamma r}^i \leq V_3^{ПЗП}; \quad (15)$$

- требуемый объем общей памяти ОЗУ ПС не должен превышать заданного $V_3^{ОЗП}$

$$V_r^{ОЗП} X_{j\rho\gamma r}^i \leq V_3^{ОЗП}, \quad (16)$$

$$i = \overline{1, 5}; \quad \rho = \overline{1, \rho^j};$$

$$\gamma = \overline{1, \gamma^\rho}; \quad r = \overline{1, r_\gamma},$$

где

$$V_3^{ОЗП} = \max_{r=1, r_\gamma} \{ V_r^{ОЗП} \};$$

- требуемая тактовая частота ПЭВМ должна быть не более заданной $\tau_r^{ТЧМ}$

$$\tau_r^{ТЧМ} X_{j\rho\gamma r}^i \leq \tau_3^{ТЧМ}, \quad i = \overline{1, 5};$$

$$j = \overline{1, j^i}; \quad \rho = \overline{1, \rho^j};$$

$$\gamma = \overline{1, \gamma^\rho}; \quad r = \overline{1, r_\gamma}, \quad (17)$$

где

$$\tau_3^{ТЧМ} = \max_{r=1, r_\gamma} \{ \tau_r^{ТЧМ} \}.$$

Приведенная математическая модель (1) – (17) относится к задаче многокритериального дискретного программирования.

Выводы. Таким образом, в данной работе предложена обобщенная модель выбора ПС, которая позволяет в отличие от известных, в зависимости от функциональных групп бизнес-процессов офиса по управлению проектами выбирать эффективный комплекс программных средств по заданным критериям и ограничениям. Эта модель позволяет повысить эффективность функционирования офиса по управлению проектами за счет автоматизации бизнес-процессов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Управління проектами: Навчальний посібник / Л.І. Нефьодов, Ю.А. Петренко, С. А. Кривенко, М.І. Богданов, В.Ф. Демішкан. – Харків: ХНАДУ, 2004. - 231 с.
2. Гужва В.М. Інформаційні системи і технології на підприємствах: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2001. – 417 с.
3. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребеннік Ш.В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах: Навч. Посібник. – Харків: ХДТУБА. – 2002.– 284 с.
4. Калянов Г.Н. CASE-технології. Консалтинг в автоматизації бізнес-процесів. – 3-е изд.- М.: Горячая линия - Телеком, 2002.– 320 с.
5. О’Лири, Дэниел. ERP-системи. Современное планирование и управление ресурсами предприятия: Пер. с англ. – М.: ООО «Вершина», 2004. – 272 с.
6. Руководство к своду знаний по управлению проектами. 3-е издание. Руководство PMBOK. Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2004.

УДК 658.512.011.56

СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Д.т.н. И.Ш. Невлюдов, к.т.н. А.М. Цымбал, С.С. Милютин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Рассмотрены общая постановка задачи проектирования технологии сборочных процессов, вопросы построения сетевых моделей проектирования сборочной технологии. Предложены модели проектирования технологических процессов сборки на основании семантической сети, фреймов, а также сетей Петри. Обосновывается выбор предложенных моделей, а также приведены основные свойства данных моделей. Описана целесообразность данных моделей для создания системы голосового формирования управляющих команд работа. Планируется использование результатов исследований для разработки систем управления интеллектуальным роботом.

The general task of assembling technological processes design, questions of network assembling technological processes models build are considered. There are suggested models of assembling technological processes design based on semantic network, frames and Petri nets. Models choice is described. Using of research results is planned for intellectual robot control system development.

Введение

Проектирование технологических процессов в производстве радиоэлектронной аппаратуры продолжает оставаться областью, в которой роль человеческого фактора велика даже при проектировании изделий несложной конструкции.

Технология сборочных процессов изделий имеет, в основном, описательный характер и не позволяет в полной мере использовать вычислительные методы из-за следующих особенностей [1]:

- отсутствие строгих аналитических зависимостей;
- сложная взаимосвязь и взаимное влияние отдельных задач;
- большая роль эмпирических зависимостей и существование неявных объективных законов;
- наличие огромных информационных потоков и влияющих друг на друга факторов.

Разработке математических моделей технологических процессов сборки посвящено не так

много работ. Среди них следует выделить прежде всего [1] и [2]. Обзор литературы подтверждает в основном эмпирический характер проектирования и практическую малочисленность обобщенных математических моделей.

С другой стороны такие характерные особенности технологии с самого начала привлекают внимание специалистов из смежных областей, больше ориентированных на работу со слабоформализуемой информацией – технологий представления знаний и методов искусственного интеллекта.

При построении моделей технологических процессов (ТП) следует учитывать огромный опыт, накопленный специалистами-технологами, несмотря, зачастую, на его неструктурированность. В то же время необходимо исходить из наличия вполне определенных закономерностей проектирования технологии. В силу сказанного, исследования в области моделирования технологических процессов сборки продолжают оставаться актуальными, особенно в условиях широкого применения разнообразных средств автоматизации, в частности промышленных роботов.

Создание моделей сборочных операций позволяет упростить проектирование сборочных технологических процессов, особенно, если представление модели и проектирование системы принятия решений робота будут производиться на общей математической и логической основе. С практической точки зрения разработка моделей обеспечит основу для разработки лингвистического и программного обеспечения системы поддержки и принятия решений в рамках исследований в области создания интеллектуальных роботизированных систем, производимых на кафедре технологии и автоматизации производства ХНУРЭ.

1. Постановка задачи

Цель сборочного технологического процесса заключается в обеспечении необходимой конфигурации сборочной детали в соответствии с технологией конкретного производства.

Результатом сборочного процесса является выстроенная в определённой последовательности совокупность сборочных единиц. Как правило, цель достигается одним или несколькими вариантами.

Целевое состояние сборочного процесса G можно характеризовать матрицей инцидентности D :

$$D = \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & \dots & d_{0n} \\ d_{10} & d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m0} & d_{m1} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где d_{ij} – наличие общей поверхности сборочных единиц i и j .

Данная матрица описывает взаимное расположение сборочных единиц. С другой стороны при описании сборочных деталей необходимо учитывать матрицу размерностей, характеризующую взаимные размерные связи сборочных единиц:

$$R = \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & \dots & r_{0n} \\ r_{10} & r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m0} & r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где r_{ij} – наличие размерной связи сборочных единиц i и j .

При проектировании сборочных процессов, для достижения цели G используется матрица инцидентности, матрица размерностей и логические закономерности проектирования сборочных технологических процессов, которые учитываются при принятии решения на проектирование. Данные закономерности, в свою очередь, разумно представить матрицей

$$L = \begin{bmatrix} l_{00} & l_{01} & \dots & l_{0n} \\ l_{10} & l_{11} & \dots & l_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{m0} & l_{m1} & \dots & l_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где каждое l_{ij} – логическая закономерность, характеризующая сочетание сборочных единиц в детали

Матрицы инцидентности и размерных связей могут быть достигнуты разработкой плана сборочного процесса – упорядочением последовательности установки сборочных единиц, т. е.

$$G = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, \quad (4)$$

где u_i – сборочная единица.

С другой стороны, эти же матрицы инцидентности и размерных связей можно получить при анализе конструкторской документации как сформулированную в особой форме цель проектирования сборочного технологического процесса, иначе говоря, матрицы D и R рассматриваются как в начале процесса проектирования, так и в его конце.

Задача проектирования состоит в том, чтобы на каждом i -том шаге сборочного процесса найти необходимую u_i , соответствующую условиям матрицы R , D и L .

$$\tilde{u}_i = G_i(\tilde{U}), \quad (5)$$

где \tilde{u}_i – элемент множества упорядоченных сборочных единиц;

G – целевая функция;

\tilde{U} – множество неупорядоченных сборочных единиц, $\tilde{U} = \{\tilde{u}_0, \tilde{u}_1, \dots, \tilde{u}_n\}$;

В результате, сборочный технологический процесс можно описать в виде декартова произведения:

$$G(\tilde{U}) = D \times R \times L \times \tilde{U} = D \times R \times \bar{U}, \quad (6)$$

где D – матрица инцидентности;

R – матрица размерностей;

L – множество логических закономерностей проектирования сборочных технологических процессов;

\tilde{U} – неупорядоченный набор сборочных единиц;

\bar{U} – упорядоченный набор сборочных единиц (спроектированный технологический процесс).

Таким образом, на основе представленной обобщённой модели предлагается разработать математические модели, обеспечивающие детальное описание различных подходов к проектированию технологических процессов и учитывающие описанные выше особенности процесса проектирования.

2. Использование модели семантических сетей

Рассмотрим моделирование сборочного процесса объекта, изображённого на рисунке 1 при помощи модели семантических сетей. Как известно, данная модель предусматривает наличие набора вершин, представляющих объект, моделируемой предметной области, и дуг, описывающих отношения между объектами. В соответствии с таким представлением, сборочный процесс направляющих перемещений транспортно работа может быть описана следующим образом.

Направляющая1 присоединяется к Направляющая2, если существуют совместимые детали типа «планка», которые прикладываются с обеих сторон Направляющая1 и Направляющая2. Соединение Направляющая1, Направляющая2 при помощи Планка1 и Планка2 осуществляется совместимыми болтами шайбами и гайками.

На основании этого высказывания построим семантическую сеть, которая представляет собой направленный граф с помеченными вершинами и дугами. При этом вершинам ставятся в соответствие определённые объекты (в данном случае – детали), а дугам – семантические отношения между ними.



Рис.1. Схема соединения направляющих

Аналогично [2] пусть задано множество объектов $A = \{ \text{Направляющая1, Направляющая2, Планка1, Планка2, Болт1, Болт2, Болт3, Болт4, Шайба1, Шайба2, Шайба3, Шайба4, Шайба5, Шайба6, Шайба7, Шайба8, Гайка1, Гайка2, Гайка3, Гайка4} \}$, – атрибуты; и конечное множество отношений $R = \{ \text{Соединение, Ориентирование, Совмещение, Следование за} \}$. По определению схемой, или интенционалом отношения R_i , называется набор пар $\text{INT}(R_i) = \{ \dots, [A_j, \text{DOM}(A_j)], \dots \}$, где R_i – имя отношения; $\text{DOM}(A_j)$ – домен A_j , т.е. множество значений атрибута A_j отношения R_i .

Тогда интенционал отношения *Соединение* можно записать в следующей форме:

$\text{INT}(\text{Соединение}) = \{ [\text{Направляющая1, Направляющая2}], [\text{Направляющая2, Направляющая1}] \}$; интенционал отношения *Ориентирование* будет выглядеть следующим образом:

$\text{INT}(\text{Ориентирование}) = \{ [\text{Направляющая1, (Направляющая2, Планка1, Планка2)}], [\text{Направляющая2, (Направляющая1, Планка1, Планка2)}], [\text{Болт1, Планка1}], [\text{Болт2, Планка1}], [\text{Болт3, Планка1}], [\text{Болт4, Планка1}], [\text{Шайба1, Болт1}], [\text{Шайба2, Болт1}], [\text{Шайба3, Болт2}], [\text{Шайба4, Болт2}], [\text{Шайба5, Болт3}], [\text{Шайба6, Болт3}], [\text{Шайба7, Болт4}], [\text{Шайба8, Болт4}], [\text{Гайка1, Болт1}], [\text{Гайка2, Болт2}], [\text{Гайка3, Болт3}], [\text{Гайка4, Болт4}] \}$;

для отношения *Совмещение* интенционал можно записать в следующем виде:

$\text{INT}(\text{Совмещение}) = \{ [\text{Направляющая1, (Направляющая2, Планка1, Планка2)}], [\text{Направляющая2, (Направляющая1, Планка1, Планка2)}], [\text{Болт1, (Планка1, Шайба1, Шайба2, Гайка1)}], [\text{Болт2, (Планка1, Шайба3, Шайба4, Гайка2)}], [\text{Болт3, (Планка2, Шайба5, Шайба6, Гайка3)}], [\text{Болт4, (Планка2, Шайба7, Шайба8, Гайка4)}], [\text{Шайба1, Болт1}], [\text{Шайба2, Болт1}], [\text{Шайба3, Болт2}], [\text{Шайба4, Болт2}], [\text{Шайба5, Болт3}], [\text{Шайба6, Болт3}], [\text{Шайба7, Болт4}], [\text{Шайба8, Болт4}], [\text{Гайка1, Болт1}], [\text{Гайка2, Болт2}], [\text{Гайка3, Болт3}], [\text{Гайка4, Болт4}] \}$;

интенционал отношения *Следование за* представим следующим образом:

$\text{INT}(\text{Следование за}) = \{ [\text{Шайба1, Болт1}], [\text{Шайба3, Болт2}], [\text{Шайба5, Болт3}], [\text{Шайба7, Болт4}], [\text{Планка1, (Шайба1, Шайба3, Шайба5, Шайба7)}], [\text{Направляющая1, Планка1}], [\text{Направляющая2, Планка1}], [\text{Планка2, (Направляющая1, Направляющая2)}], [\text{Шайба2, Планка2}], [\text{Шайба4, Планка2}], [\text{Шайба6, Планка2}], [\text{Шайба8, Планка2}], [\text{Гайка1, Шайба2}], [\text{Гайка2, Шайба4}], [\text{Гайка3, Шайба6}], [\text{Гайка4, Шайба8}] \}$.

Объединение всех доменов является экстенционалом отношения R_i , т.е. $\text{EXT}(R_i) = \{ F_1, \dots, F_p \}$, где $F_k (k=1, p)$ – факт отношения R_i . Факт задается совокупностью пар «атрибут – значение», которые называются атрибутивными парами. В графической интерпретации факт – это подграф семантической сети, имеющий звездообразную структуру. Корень подграфа – вершина предикатного типа. Из вершины подграфа выходят рёбра, которые обозначаются именами атрибутов факта и направляются к вершинам базового множества, которые являются значениями этих атрибутов.

Выделенные отдельные факты представлены в таблице 1.

Таблица 1
Факты семантической сети (фрагмент)

№ факта	Имя отношения	Объект1	Объект 2
F1	Соединение	Направляющая1	Направляющая2
F3	Ориентирование	Направляющая1	Планка1
F28	Совмещение	Болт1	Планка1
F48	Следование за	Шайба1	Болт1

Отношения «Соединение», «Ориентирование» и «Совмещение» являются взаимными, т.е., если объекту1 присуще определённое отношение к объекту2, то и объекту2 присуще это отношение к объекту1. Отношение «Следование за» не является взаимным и означает, что объект1 следует за объектом2.

Фрагмент семантической сети, описывающий отношение «Соединение» представлен на рисунке 2



Рис.2. Фрагмент семантической сети (отношение «Соединение»)

Фрагмент семантической сети, описывающий отношение *Ориентирование* представлен на рисунке 3. Фрагмент семантической сети, описывающий отношение «Совмещение» представлен на рисунке 4.

Таким образом, разработанная модель сборочного технологического процесса обеспечивает описание отношений между сборочными единицами в собираемом изделии. Хотя семантическая сеть призвана отобразить наличие смысловых связей между сборочными единицами, полное описание изделия представляется достаточно громоздким даже для несложных изделий. Поэтому представляется целесообразным использовать модель семантической сети только для отображения отдельных узлов, в том числе стандартных по составу и технологическому исполнению.

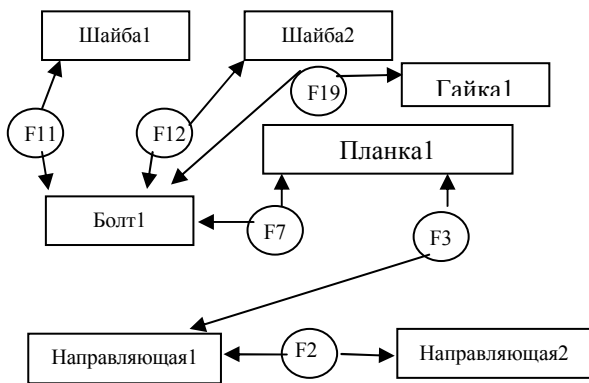


Рис.3. Фрагмент семантической сети (отношение «Ориентирование»)

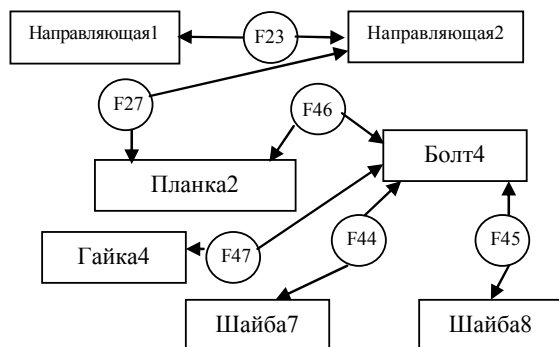


Рис.4. Фрагмент семантической сети (отношение «Совмещение»)

3. Применение фреймовой модели

При проектировании технологии сборочных процессов часто имеют место стандартные ситуации сборки отдельных узлов, поэтому имеет смысл рассмотреть фреймовую модель сборочного технологического процесса.

Для каждого сборочного изделия может существовать множество возможных схем сборочного процесса СД.

В частности, СД представляет собой $C(D) = \langle C(D)_1, C(D)_2, \dots, C(D)_N \rangle$ – множество схем сборочного процесса, где $C(D)_i$ – возможная схема сборочного процесса, N – количество возможных схем сборочного процесса.

В свою очередь $C(D)$ может быть записана в следующем виде:

$$C(D) = \langle d_a, d_b, \dots, d_m \rangle, \tag{7}$$

где D – множество необходимых сборочных операций,

$d_i \in D$ – отдельная сборочная операция, m – количество необходимых сборочных операций.

Каждая отдельная сборочная операция осуществляется определённым инструментом, она также описывается необходимым и конечным состояниями собираемых деталей. Это можно записать следующим образом:

$$d_i = \langle I, ndet1, ndet2, kdet1, kdet2 \rangle, \tag{8}$$

где I – инструмент,
 ndet1 – начальное положение детали 1,
 ndet2 – начальное положение детали 2,
 kdet1 – конечное положение детали 1,
 kdet2 – конечное положение детали 2.

В схеме $C(D)_i$ может оказаться стандартная подпоследовательность сборочного процесса $\langle d_i, d_j, d_k \rangle$, которая будет представлять стандартную сборочную технологическую операцию (ТО), а значит, представляет собой фрейм технологической операции. Пример выделения стандартных технологических операций (фреймов) в структуре технологического процесса приведен на рисунке 5.

Фрейм «соединение» содержит перечисление всех возможных видов соединения: болтовое соединение, винтовое соединение, сварочное соединение, паянное соединение, заклёпочное соединение. Каждое из этих соединений в свою очередь представляет собой фрейм данного соединения, который содержит информацию об инструменте, времени выполнения соединения, а также начальное и конечное положения соединяемых деталей.

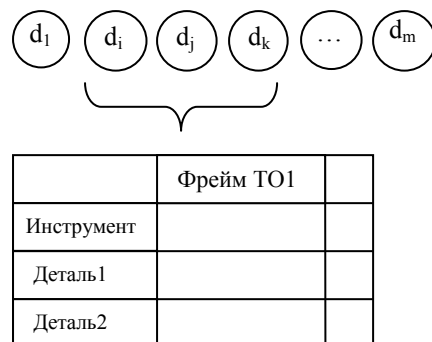


Рис.5. Выделение стандартных технологических операций (фреймов) в структуре технологического процесса.

Необходимо найти стандартные подпоследовательности и упорядочить выполнение сборочного процесса по критериям экономии времени, материалов, оборудования. Для выполнения этих критериев целесообразно выделить подпоследовательности, которые могут быть выполнены параллельно, минимизировать необходимости переориентации работа и деталей, а также смены инструмента во время сборочного процесса.

Рассмотрение фреймовой модели позволяет сделать следующее заключение: при проектировании сборочных ТП фреймовая модель подходит для описания стандартных подпоследовательностей технологических процессов, отдельных технологических операций и переходов. Даже в совершенно новом изделии возможно наличие стандартных сборочных узлов, для которых в структуре системы планирования технологических

процессов будет описан соответствующий фрейм, описывающий элемент технологии сборочных процессов – своеобразное микро-“know-how” для отдельного узла, перехода или операции.

4. Моделирование сборочного ТП при помощи сетей Петри

При проектировании технологических процессов роботизированного производства удобно использовать сети Петри. Такой подход описан в [3]. Применение сетей Петри можно рассматривать в двух направлениях. С одной стороны, при помощи сети Петри возможно представление детальной структуры технологических переходов спроектированного сборочного технологического процесса. При этом считается, что последовательность сборочного процесса уже определена и её можно разработать либо также при помощи сетей Петри, либо с помощью других моделей. С другой стороны, модель сетей Петри может являться основой для проектирования технологического процесса с первоначально неопределённым характером переходов. В этом случае все возможные варианты сборочного процесса можно описать последовательностью узлов – сборочных элементов и подборок. Выбор той или иной последовательности может определяться при помощи логической модели и оцениваться при помощи коэффициентов определённости.

Приведём необходимые понятия и определения.

Сетью называется тройка $N = (P, T, F)$, где P и T – некоторые непустые множества, элементы которых называются соответственно местами и переходами, $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – бинарное отношение инцидентности между местами и переходами. На основе отношения инцидентности F вводится функция инцидентности $\bar{F}: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow N$, где N – множество натуральных чисел.

Разметкой сети $N = (P, T, F)$ называется функция $\mu: P \rightarrow N$. Если $\mu(p) = k \in N$, то говорят, что в месте $p \in P$ имеется k фишек или говорят, что функция помещает в место p сети N k фишек.

Сеть Петри (СП) это пара (N, μ_0) , где N – некоторая сеть, а μ_0 – некоторая начальная разметка сети N .

Переход $t \in T$ допустим на разметке μ СП $(N, \mu_0) \Leftrightarrow \forall p \in P: \mu(p) \geq \bar{F}(p, t)$. Срабатывание перехода t при разметке сети μ порождает разметку сети μ' по следующему правилу: $\forall p \in P: \mu'(p) = \mu(p) - \bar{F}(p, t) + \bar{F}(t, p)$. Разметка μ достижима из начальной разметки μ_0 , если существует последовательность разметок μ_0, μ_1, \dots, μ и последовательность переходов $\sigma = t_1, t_2, \dots, t_n$ такие, что:

$$\mu_0 \xrightarrow{t_0} \mu_1 \xrightarrow{t_2} \dots \xrightarrow{t_n} \mu.$$

СП называется ординарной, если кратность всех её дуг равна 1.

СП называется чистой, если для всякого перехода СП $t \cap t^* = \emptyset$.

Граф разметок СП – ориентированный граф, множество вершин которого образовано множеством

достижимых в СП разметок. Из вершины μ в вершину μ' ведёт дуга, помеченная символом t , если и только если $\mu \xrightarrow{t} \mu'$, где μ и μ' – достижимые разметки, а t – переход данной СП.

Циклом в СП называется последовательность x_0, x_1, \dots, x_k , где x_i является или местом, или переходом, и выполняются следующие условия $x_{i+1} \in x_i^*$; и $x_0 = x_k$.

Непустое подмножество мест Q в ординарной СП называется тупиком (ловушкой), если каждый переход, выходное (входное) место которого принадлежит Q , содержит в Q и своё входное (выходное) место.

Матрица инцидентности СП, уравнение состояния и инварианты СП. Для СП и каждой разметки μ , достижимой из начальной разметки μ_0 , можно сформулировать следующую задачу, которую называют уравнением состояния: $Ax = \mu - \mu_0, x \geq 0$, где x – вектор Парика (или вектор-счётчик) для последовательности переходов σ , а A – матрица инцидентности СП с целочисленными коэффициентами, которые определяются с помощью уравнения: $a_{ij} = \bar{F}(t_j, p_i) - \bar{F}(p_i, t_j)$, где \bar{F} – функция инцидентности. Справедливость этого уравнения следует из правила сохранения фишек, так как коэффициенты a_{ij} матрицы инцидентности СП представляют собой число фишек, которые перемещаются, изменяются и добавляются в место p_i при срабатывании перехода t_j в этой СП.

Если некоторая заданная разметка μ СП достижима из заданной начальной μ_0 [3], то существует решение соответствующего этой сети уравнения состояния, представляющее вектор Парика. Если уравнение состояния не имеет решения, то разметка сети μ не достижима из μ_0 . Иными словами, существование решения уравнения состояния является лишь необходимым условием достижимости разметки μ .

Положительные, целочисленные решения однородной системы $Ax = 0$, производной от уравнения состояния, называются T -инвариантами СП. Положительные, целочисленные решения однородной системы $A^T y = 0$ называются S -инвариантами СП, где A^T – транспонированная матрица инцидентности.

Работа сборочного РТК начинается с включения промышленного робота. Далее, при условии выполненного включения проверяется наличие манипулятора в начальном положении (в точке 1'). На следующем этапе манипулятор переводится в точку расположения детали 2 (магазин деталей). После этого деталь зажимается схватом, после чего она переносится в точку установка (точка назначения 1). Следующим шагом является установка детали в необходимом положении и открытие захватного устройства. Манипулятор переводится в точку назначения 1. Нарастивается счётчик количества установленных деталей, выполняется проверка, все ли детали установлены, и если нет, манипулятор перемещается в необходимую точку 2 (магазин деталей). Цикл повторяется до тех пор, пока все

детали не будут установлены, после чего рука манипулятора переводится в начальную точку 1', и робот выключается.

Сеть Петри для функционирования сборочного РТК приведена на рисунке 6.

Состояния и переходы сети Петри для РТК приведены в таблице 2.

Таким образом, в данном разделе предложена модель сборочного технологического процесса на основе сетей Петри. Данная модель позволяет детально описать характер технологических переходов при проектировании технологии сборочного РТК. Также сеть Петри разумно использовать при определении порядка сборочного процесса в РТК. Учитывая многовариантность процесса проектирования сборочной технологии и необходимость оценки каждого из вариантов, следует также говорить и о применимости подхода нечётких сетей Петри.

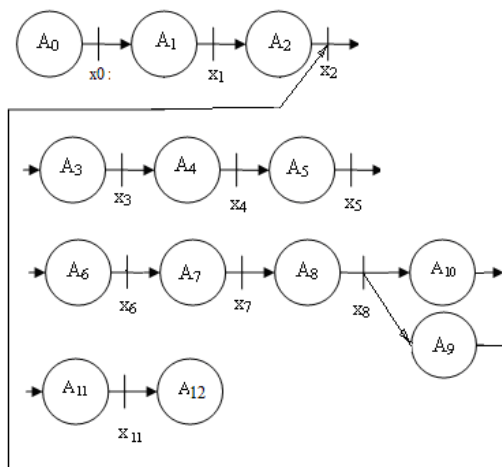


Рис. 6. – Сеть Петри для функционирования сборочного РТК

Заключение

В данной статье рассмотрены имитационные модели проектирования сборочных технологических процессов роботизированного производства. Формальное представление сборочных процессов основано на общем представлении сборочной детали как упорядоченной совокупности сборочных единиц. Характер упорядочения определяется замыслом конструкции сборочной детали с учётом взаимодействия сборочных единиц, их размерных связей, формальных и неформальных логических закономерностей проектирования технологических процессов. На основании разработки моделей можно сделать следующие выводы:

1. Предложена модель на основе семантических сетей, которая описывает отношения между сборочными единицами.

2. Для выделения стандартных ситуаций в последовательности сборочного процесса разработана фреймовая модель, что обеспечивает возможность упорядочивания выполнения сборочного процесса по критериям экономии времени, материалов, оборудования.

3. Предложена модель сборочного технологического процесса на основе сетей Петри, она

позволяет детально описать характер технологических переходов при проектировании технологии сборочного РТК.

Таким образом, указанная совокупность моделей позволит описать процесс проектирования ТП с разных точек зрения и с учётом использования команд голосового управления, обеспечить целостное описание и подготовить основу для практической реализации подсистемы голосового формирования команд в составе САПР ТП робота.

Таблица 2

Состояния и переходы сети Петри

Состояния	Описание состояния	Переходы	Описание перехода
x0	РТК включен	A ₀	включение РТК
x1	манипулятор ПР в начальной точке 1'	A ₁	перемещение манипулятора ПР в начальную точку 1'
x2	манипулятор ПР в необходимой точке 2	A ₂	перемещение манипулятора ПР в необходимую точку 2
x3	деталь зажата захватным устройством ПР	A ₃	захват заготовки роботом
x4	манипулятор ПР в точке назначения 1	A ₄	перемещение манипулятора ПР в точку 1
x5	деталь установлена	A ₅	установка детали
x6	деталь разжата захватным устройством ПР	A ₆	разжим заготовки роботом
x7	манипулятор ПР в точке назначения 1	A ₇	перемещение манипулятора ПР в точку 1
x8	$i=i+1$	A ₈	$i = i + 1$
x9	$i<n+1$	A ₉	$i<n+1$
x10	$i=n+1$	A ₁₀	$i=n+1$
x11	манипулятор ПР в начальной точке 1'	A ₁₁	перемещение манипулятора ПР в начальную точку 1'
		A ₁₂	выключение робота

ЛИТЕРАТУРА:

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002, – 335с.
2. Лавров О.А., Ямпольский Л.С. Штучный интеллект планирования и управления производством. - К.: Вища школа, 1996р.- 375с.
3. Кириллов В.Ю. Об автоматной интерпретации сетей Петри. // Техническая кибернетика, 1987, № 5.
4. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004. - 369с.