

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАРКА

ДЖ.Ф. МАМЕДОВ, Г.С. АБДУЛЛАЕВ, Г.Г. ГЕНЖЕЛИЕВА, Э.А. НАСИРОВА

Аннотация. В результате анализа этапов разработки компоновочной схемы технологических единиц в производственной линии технологического парка в зависимости от специфики предприятия поэтапно определен объем входной информации и количество проектных процедур для автоматизированного проектирования. Для выбора лучших вариантов компоновок производственных линий технологического парка предложен алгоритм с допустимыми критериями ограничений рабочих зон и безопасности движения технических единиц производственной линии. Разработано программное обеспечение для выбора компоновочной схемы FMS с технологического парка.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, компоновочная схема, производственная линия, этапы проектирования, технологический парк.

Разработка компоновочной схемы производственной линии (ПЛ) для технологического парка как сложный итерационный процесс реализуется поэтапно на основе всех критериев и ограничений, определенных в техническом задании проекта и уточняемых на последующих этапах. Для решения задачи автоматизированного проектирования [1, 2] компоновочной схемы ПЛ на начальных этапах проектирования требуется определить особенности технологического процесса, расположения основного оборудования и промышленных роботов, манипуляторов, а также способы передачи изготавливаемого изделия между технологическим оборудованием, загрузочно-разгрузочными и транспортно-ориентирующими устройствами, размещения межоперационных заделов и транспортных систем в технологическом парке.

На примере гибкого автоматизированного механического участка (ГАМУ) для изготовления опытных образцов проектов в технологического парка (рис. 1) рассмотрим процесс поэтапного выбора и проектирования компоновочной схемы

Этап технического предложения при проектировании общей компоновочной схемы ГАМУ, состоящий из множества входной информации ($I_{вх}$), проектных процедур решения данной задачи и выходных результатов ($I_{вых_i}$), включает стадии: определения основных производственных подразделений ГАМУ; проектные процедуры определения структурных и функциональных схем производственных модулей и участков ГАМУ; выбор готовых компоновочных схем производственных модулей ГАМУ, а также их активных элементов существующих баз данных графических и информационных систем; определение функциональных связей между технологическими единицами ГАМУ.

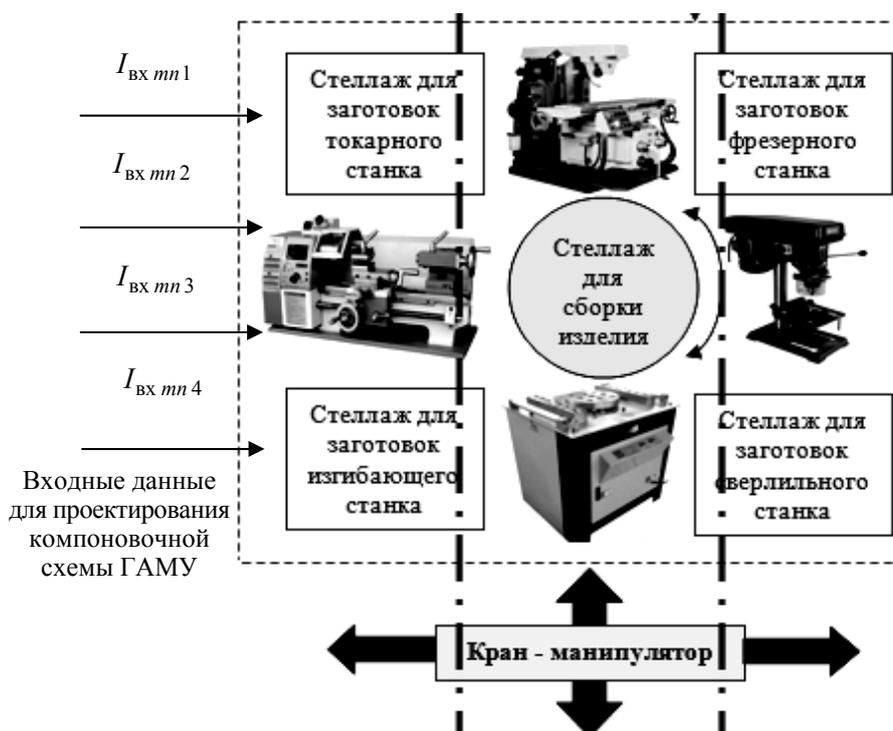


Рис. 1. Круговая компоновочная схема ГАМУ для изготовления опытных образцов проектов в технологического парке

На этапе технического предложения [3, 4, с. 45–78] автоматизированного проектирования сложных технических систем из множества входных воздействий $I_{вх mn j}$ с критериями $K_{вх mn j}$ формируются модели $M_{mn j}$ для представления результатов диалогового поиска готовых компоновочных схем ГАМУ требуемого назначения, математического исследования задач по определению позиций основного оборудования в ГАМУ, программного представления отдельных чертежей частей ГАМУ_{ij}. Множества входных воздействий $I_{вх mn j} = \{I_{вх mn 1}, I_{вх mn 2}, \dots, I_{вх mn n}\}$ включают информационные данные: $I_{вх mn 1}$ — последовательность технологических операций основного оборудования; $I_{вх mn 2}$ — типы основного оборудования; $I_{вх mn 3}$ — виды загрузочно-разгрузочных манипуляционных операций; $I_{вх mn 4}$ — типы загрузочно-разгрузочных манипуляционных роботов; $I_{вх mn 5}$ — технико-габаритные размеры основного оборудования; $I_{вх mn 6}$ — расстояния безопасного перемещения между технологическими единицами, роботами и транспортными проездами.

Множество графического представления $M_{mn j}$ по результатам диалогового поиска готовых компоновочных схем ГАМУ из базы данных графических систем с учетом входных данных $I_{вх mn j}$ для проектирования формируется поэтапно. Сначала составляются экстремальные условия ограничения в виде [5]

$$G(I_{\text{ВХ } mn j}) = \sum_{j=1}^n M_{mn j}(I_{\text{ВХ } mn j}) \leq K_{\text{ВХ } mn j},$$

где $K_{\text{ВХ } mn j} \in \{K_{\text{ВХ } mn 1}^j, K_{\text{ВХ } mn 2}^j, \dots, K_{\text{ВХ } mn n}^j\}$; $K_{\text{ВХ } mn 1}^j$ — допустимая рабочая зона технологического оборудования (ТО) и промышленного робота (ПР) в каждом производственном модуле (ПМ_{ji}), где j -число производственных модулей в ГАМУ_{ji}; $K_{\text{ВХ } mn 2}^j$ — допустимое число ТО и ПР в ГАМУ_{ji}; $K_{\text{ВХ } mn 3}^j$ — допустимая площадь складского помещения ГАМУ; $K_{\text{ВХ } mn 4}^j$ — допустимое расстояние между ПМ_{ji} и зоной перемещения электрокары в ПС; $K_{\text{ВХ } mn 5}^j$ — допустимая высота помещения ГАМУ.

Множество графического представления компоновочных схем ПМ_{ji} и соответственно ГАМУ в комплексе задаются в виде:

$$\forall M_{mni} \in \begin{bmatrix} M_{mn\text{ПМ}1} \oplus M_{mn\text{ПМ}2} \oplus \dots \oplus M_{mn\text{ПМ}k} \\ M_{mn\text{ПМ}21} \oplus M_{mn\text{ПМ}22} \oplus \dots \oplus M_{mn\text{ПМ}2m} \\ \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\ \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\ M_{mn\text{ПМ}n1} \oplus M_{mn\text{ПМ}n2} \oplus \dots \oplus M_{mn\text{ПМ}s} \end{bmatrix} \Rightarrow M_{mn\text{ПЛ}},$$

где $M_{mn\text{ПМ}i} \oplus \dots \Rightarrow M_{mn\text{ПЛ}i}$ ($i = \overline{1, k}$, $i = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, s}$) — логическое сложение моделей графического представления готовых компоновочных схем ПМ_{ji} в ГАМУ.

Далее с целью редактирования графической информации с последующими допустимыми ограничениями по минимизации количества стандартных элементов и соответственно обеспечению минимизации рабочей площади и цикловых заделов в множестве выбранных графических представлений готовых компоновочных схем производственных модулей в ГАМУ могут изменяться позиционные координаты оборудования, промышленных роботов и других элементов, производиться операции удаления элементов чертежа или изменяться форма размещения производственного модуля. Для уточнения проектных операций составляются математические и алгоритмические модели, результаты которых вводятся проектировщиком в спецификации координат позиций активных элементов ПМ_{ji} в ГАМУ [6]. Данные проектные операции проводятся с учетом выполнения условий:

$$K_{\text{ВХ } mn 1}^j \geq M_{\text{рз } j}, K_{\text{ВХ } mn 4}^j \geq M_{\text{рм } j},$$

где $M_{\text{рз } j}$, $M_{\text{рм } j}$ — соответственно математические модели по определению рабочей зоны ТО и ПР в каждом ПМ_{ji} и их координат с учетом безо-

пасности расстояния между ПМ_{ji} и зоной перемещения электрокары в ГАМУ.

В результате диалогового поиска (запросов) готовых компоновочных схем из базы данных выбираются множества подходящих по условию ограничений $K_{вх mn j}$ компоновочные схемы ПМ_{ji} в ГАМУ. При этом многообразие системных вариантов компоновочных структур ГАМУ определяется большим количеством варьируемых вариантов. Перед проектировщиком ставится задача анализа максимального количества вариантов компоновочных схем ГАМУ с целью выбора лучших вариантов. Компоновочная схема ГАМУ выбирается на основе варьирования дискретных параметров: набор ТО; множество структур размещения ТО и ПР; последовательность технологических операций.

На этапе эскизного проектирования компоновочной схемы ПЛ в соответствии с конечными результатами этапа технического предложения [6, с. 67–72] разрабатываются готовые структурные и функциональные схемы; определяются значения рабочей зоны ТО и ПР в каждом ПМ_{ji} ($I_{кон эп} \in \{I_{кон эп1}, I_{кон эп2}, \dots, I_{кон эпn}\}$) и их координат ($K_{кон эп} \in \{K_{кон эп1}, K_{кон эп2}, \dots, K_{кон эпn}\}$) с учетом безопасного функционирования активных элементов, расстояния между ПМ_{ji} и зоной перемещения электрокары в ГАМУ и другими дискретными параметрами; выполняются проектные процедуры. При решении рассматриваемых проектных задач на этапе эскизного проекта должно выполняться условие

$$\forall MI_j \vee II_j \vee PI_j \in \vee PV_j,$$

где $\forall MI_j, II_j, PI_j$ — соответственно разработанные математические, информационные и программные инструментарии (МИ, ИИ, ПИ) автоматизированного выбора компоновочной схемы ПЛ, которые соответствуют процедурам выбора (PV_j).

Множество ИАП компоновочной схемы ГАМУ можно представить в виде блочной матрицы [6, с. 87]:

$$И = \begin{pmatrix} MI_{11} & MI_{12} & \dots & MI_{1n} \\ II_{21} & II_{22} & \dots & II_{2n} \\ PI_{31} & PI_{32} & \dots & PI_{3n} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \mathcal{E}_{Mj} \\ \mathcal{E}_{Ij} \\ \mathcal{E}_{Pj} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} PV_{1i} \\ PV_{2i} \\ PV_{3i} \end{pmatrix},$$

где \mathcal{E}_{Ij} — эксперты, создающие программные инструментарии автоматизированного проектирования компоновочной схемы ГАМУ.

Проектные процедуры разработки компоновочной схемы ГАМУ $PV_{1j} \in \{PV_{11}, PV_{12}, \dots, PV_{1n}\}$, $PV_{2j} \in \{PV_{21}, PV_{22}, \dots, PV_{2k}\}$, созданные в области математического и информационного обеспечения, на подэтапах эскизного проекта представляются в качестве исходных данных для процедур по разработке специальных программных средств $PV_{3j} \in \{PV_{31}, PV_{32}, \dots, PV_{3m}\}$.

При организации проектной процедуры с помощью автоматизированного проектирования поэтапно формируются математические модели по определению координат позиций активных элементов, производственных модулей и участков ГАМУ [7], математические модели по определению рабочих зон и погрешностей позиционирования ПР и ТО, математические модели структурного и функционального анализа [8]. Управляющая программа посредством операционной системы активизирует соответствующие пакеты прикладных программ математического, информационного и конструкторского назначения. При этом проектные процедуры осуществляются по следующей схеме: $P_j : M_j \rightarrow M_{j+1}$.

Разработанный экспертом \mathcal{E}_{M_i} комплекс математического инструментария (МИ) позволяет $\mathcal{E}_{И_1}$ использовать эти модели для разработки базы данных и знаний как основные условия выбора компоновочной схемы ГАМУ в зависимости от специфики конкретного объекта проектирования. Далее $\mathcal{E}_{И_2}$ на основе интеллектуальных моделей разрабатывает информационно-поисковую модель, позволяющую осуществлять более эффективный поиск компоновочной схемы ГАМУ. С применением комплекса МИ и ИИ, созданных соответственно \mathcal{E}_{M_i} и $\mathcal{E}_{И_i}$, экспертами-программистами $\mathcal{E}_{П_i}$ разрабатывается комплекс ПИ.

Выбор компоновочной схемы каждого производственного участка гибких производственных систем осуществляется в соответствии с целевой функцией:

$$W = \text{extr}_{i,j=1,n} \left\{ \begin{array}{cccc} f_1^1 & f_2^1 & \dots & f_n^1 \\ f_1^2 & f_2^2 & \dots & f_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_1^m & f_2^m & \dots & f_n^m \end{array} \right\},$$

где $f_1^i, f_2^i, \dots, f_n^m$ — составляющие целевой функции; n, m , — соответственно количество ПМ_{*i*} в ГАМУ; количество строк обозначает типы компоновочных схем.

На основе результатов математических моделей по расчету рабочей зоны активных элементов и их временных цикловых переходов в производственных модулях различной компоновочной схемы ГАМУ и условия $f_i \leq \Delta K_{\text{вх эп } i}$ (где $f_i \rightarrow \text{МИ}_i$ — математические модели; $\Delta K_{\text{вх эп } i}$ — допустимые значения параметров, подобные результатам математических моделей) имеем:

$$f_1 \in \{S_i \rightarrow \text{КС}_{\text{ПЛ}}^j\};$$

$$f_2 = \{[T_i \rightarrow \text{ТО}, T_j \rightarrow \text{ПР}] \in [\text{КС}_{\text{ПЛ}}^1 \vee \text{КС}_{\text{ПЛ}}^2 \vee \text{КС}_{\text{ПЛ}}^3]\},$$

где $\text{КС}_{\text{ПЛ}}^1 \rightarrow \text{ПЛ}$ круговой структуры; $\text{КС}_{\text{ПЛ}}^2 \rightarrow \text{ПЛ}$ параллельной структуры; $\text{КС}_{\text{ПЛ}}^3 \rightarrow \text{ПЛ}$ угловой структуры;

$$f_3 = R_{\max} \int_0^{\varphi} \cos^2 \varphi + \sum_{i=1}^5 S_i \equiv \frac{\varphi}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\varphi + \sum_{i=1}^5 S_i ;$$

$$f_4 = \sum_{i=1}^4 t_l + \sum_{i=1}^3 t_{\varphi} + \sum_{i=1}^4 t_z ,$$

где $\frac{2\pi}{3} \leq \varphi \leq \frac{4\pi}{3}$ — угол размещения ТО и обслуживания ПР в зависимости от структуры ГАМУ ($2\pi/3$ — круговая структура ГАМУ; π — параллельная структура ГАМУ; $4\pi/3$ — угловая структура ГАМУ); R_{\max} — максимальный вылет руки ПР вместе с заготовкой; t_l — общее время выполнения линейных перемещений ПР при обслуживании ТО ГАМУ (в трехмерной координатной системе ПР выполняет 4 линейных перемещений, т.е. $n = 4$ (рис. 2)); t_{φ} — общее время выполнения вращательных перемещений ПР при обслуживании ТО ПЛ (в трехмерной координатной системе ПР выполняет 3 вращательных перемещений, т.е. $m = 3$, рис. 2); t_z — общее время выполнения операций закрытия и открытия захватом ПР при обслуживании ТО ГАМУ (в трехмерной координатной системе захват ПР выполняет 4 захватывающих и открывающих операций); S_i — площадь размещения модулей ГАМУ.

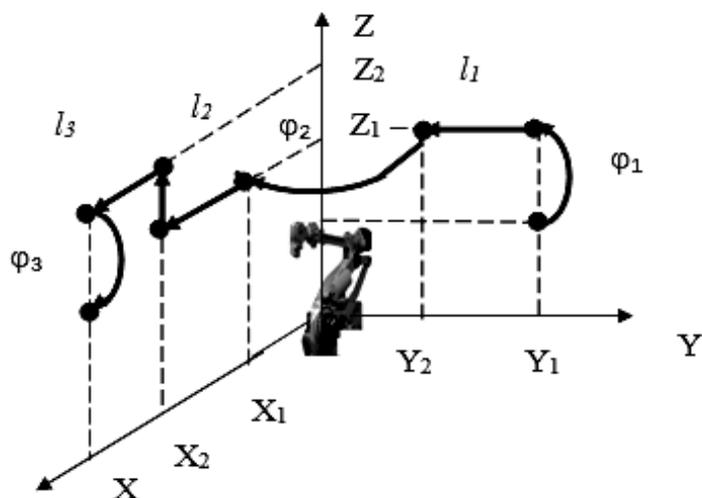


Рис. 2. Траектория движения ПР

Для информационно-технологического и структурного исследований и анализа компоновочных схем производственных модулей, участков ГАМУ формируется структура этапов алгоритмического и программного обеспечения автоматизированного проектирования [9, с. 22–85]. В алгоритмическое обеспечение исследуемого ГАМУ входят проектные модели, включающие информацию о выборе каждого ПР, манипуляторах, видах оборудования, устройств и других активных элементов; порядок выполнения операций активными элементами ГАМУ и время, расходуемое на выполненные операции оборудования. Логическое представление типов активных

элементов и их технологических операций, выбора промышленных роботов, манипуляторов и ТО, устройств управления и контроля для каждого модуля ГАМУ в зависимости от допустимых параметров ограничений является основной алгоритмического обеспечения.

На базе логических моделей алгоритмического обеспечения и рассматриваемых математических моделей (MM_i) разрабатывается программное обеспечение автоматизированного выбора и проектирования компоновочной схемы ГАМУ технологического парка.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа этапов автоматизированного проектирования производственных процессов поставлен вопрос о создании инструментария поэтапной разработки компоновочной схемы технологических единиц в производственной линии.

2. В соответствии с этапами автоматизированного проектирования предложен алгоритм с использованием входной информации и проектных процедур для выбора и разработки компоновочной схемы производственной линии.

3. С применением метода логического моделирования разработан алгоритм выбора наилучшего варианта компоновочной схемы производственного модуля с точным размещением его активных элементов.

4. Разработано программное обеспечение для выбора компоновочной схемы ГАМУ из гибкой производственной системы технологического парка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зинченко Ю.В.* Обзор современных систем автоматизированного проектирования. Потенциал современной науки / Ю.В. Зинченко, А.А. Голобородько / Омск: Омск. гос. техн. ун-тет. — 2016. — № 4(21). — С. 68–71.
2. *Meguid S.A.* Integrated computer-aided design of mechanical systems / S.A. Meguid. — London: Elsevier Applied Science, 2007. — P. 34–42.
3. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И.П. Норенков. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 430 с.
4. *Малюх В.Н.* Введение в современные САПР: курс лекций / В.Н. Малюх. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 192 с.
5. *Singh N.* System Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing / N. Singh. — USA. — 2002.
6. *Норенков И.П.* Автоматизированное проектирование: учебник / И.П. Норенков. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. — 188 с.
7. *Боровков А.И.* Компьютерный инжиниринг. Аналитический обзор: учеб. пособие / А.И. Боровков. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 93 с.
8. *Муромцев Ю.Л.* Информационные технологии в проектировании радиоэлектронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Л. Муромцев, Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин и др. — М.: Издат. центр «Академия», 2010. — 384 с.
9. *Cunvu Li.* Basis CAD of CAD/CAM/CAE "Peter" / Li. Cunvu. — Moscow–Sankt Peterburg, 2004. — 560 p.

Поступила 05.04.2018