

УДК 621.865 (075)
DOI:10.30987/2223-4608-2020-3-44-48

Дж.Ф. Мамедов, д.т.н.,
Г.С. Абдуллаев, к.т.н.,
А.Г. Алиева, преподаватель,
И.Р. Алиев, аспирант
(Сумгаитский государственный университет, AZ5004, Азербайджан, в. Сумгаит, 43-й квартал)
E-mail: cavan62@mail.ru

Вопросы кинематического и сетевого моделирования гибкой производственной ячейки

Предложена схема гибкой производственной ячейки (ГПЯ) с размещением механического оборудования для изготовления мехатронных элементов инновационных проектов в технопарке. При создании ГПЯ в технопарке были проведены научные исследования по планированию технологических процессов в виде логических предикатов и кинематическому анализу крана-манипулятора в ГПЯ. На основе трехмерной кинематической схемы крана-манипулятора определена его линейная траектория движения с обобщенными координатами для обслуживания 4-х механических станков. Определены параметры адресации в структуре ГПЯ для реализации совместного управления сетью технологического процесса.

Ключевые слова: гибкая производственная ячейка; кинематический анализ; кран-манипулятор; сетевое моделирование.

J.F. Mamedov, Dr.Sc.Tech.,
G.S. Abdullaev, Can.Sc.Tech.,
A.G. Alieva, Lecturer,
I.R. Aliev, Post graduate student
(Sumgait State University, 43-d Block, Sumgait, Azerbaijan, AZ5004)

Problems of kinematic and network modeling of flexible production cell

There is offered a circuit of a flexible production cell (FPC) with the location of engineering equipment for manufacturing mechatronic elements of innovation projects in a techno-park. At the FPC creation in a techno-park there were carried out scientific investigations on planning engineering processes as logic predicates and kinematic analysis of a crane-manipulator in the FPC. On the basis of the 3D kinematic circuit of a crane-manipulator there is defined its linear path of motion with generalized coordinates for four machine maintenance. There are defined parameters of addressing in the FPC structure for realization of a joint control of an engineering process network.

Keywords: flexible production cell; kinematic analysis; crane-manipulator; network modeling.

Как известно, для реализации инновационных проектов (стартапов) в технопарках многих развивающихся стран [1] практически используются гибкие производственные ячейки (ГПЯ) [2]. Благодаря конструктивному решению многие инженерные проекты, выполненные в технопарке, имеют механические и электронные конструкции, которые могут быть изготовлены только в ГПЯ с эффективным размещением механического оборудования на основе ее автоматизации управления. В связи с этим, создание ГПЯ в технопарке, который работает как научно-производственный и коммерческий комплекс для реализации инновационных проектов, является актуальной

научно-технической проблемой и требует проведения комплексных научно-исследовательских работ по кинематическому и сетевому моделированию крана-манипулятора ГПЯ.

Целью статьи является решение вопроса кинематического и сетевого моделирования технологических операций крана-манипулятора в ГПЯ для изготовления различных инновационных проектов с поэтапной реализацией операций в механических модулях.

На базе технологического парка предложена схема ГПЯ круговой компоновки (рис. 1) с размещением станков токарного, фрезерного, радиально-сверильного и гибочного назначения.

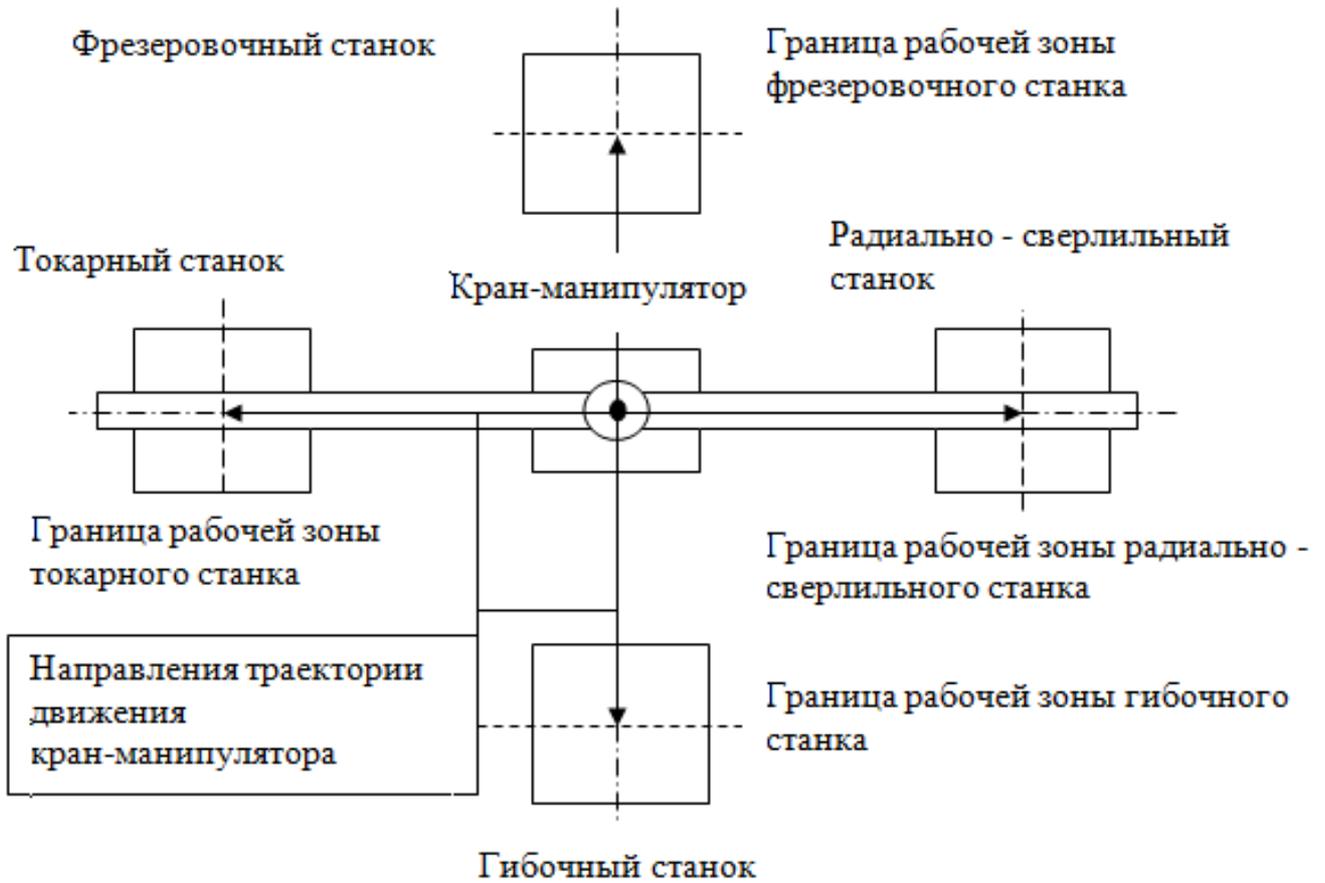


Рис. 1. Компоновочная схема ГПЯ с механическими станками в технологическом парке

Выбор круговой компоновочной схемы ГПЯ для изготовления деталей инновационных проектов обеспечивается на основе следующих принципов [3]:

1. По выбранным технологическим операциям и траектории движения крана-манипулятор поэтапно должен обслуживать все станки в ГПЯ;

2. Конструктивные размеры и формы каждого станка должны соответствовать их компактному размещению ГПЯ;

3. Перемещение крана-манипулятора между станками должно обеспечиваться в компактной площади ГПЯ.

Кран-манипулятор в ГПЯ выполняет прямолинейные движения от механических модулей токарных, фрезерных, радиальных операций сверления и гибки. На первом этапе для определения обобщенных координат и скорости движения крана-манипулятора, обслуживающий станки ГПЯ в целом, проводится кинематический анализ траектории движения крана-манипулятора [4]. В этой связи, кинематическая схема в соответствии с траекторией движения крана-манипулятора может выглядеть следующим образом (рис. 2).

Отметки, соответствующие позициям каждого механического модуля в ГПЯ: $D1$ – токарный модуль; $D2$ – фрезерный модуль; $D3$ – модуль радиального сверления; $D4$ – гибочный модуль.

В ГПЯ при обслуживании механических модулей кран-манипулятор выполняет технологические операции, которые могут записываться в виде логических предикатов [5]:

$(\forall P_i \text{ технологические операции КМ});$
 $(\forall X_i \in \text{активные элементы ГПЯ}).$
 $[(P_1 = \text{технологическая операция 1}) \vee (P_2 = \text{технологическая операция 2}) \vee \dots \vee (P_n = \text{технологическая операция } n)].$
 $[(\text{конечный(технологическая операция 1)} < \text{начальный(технологическая операция 2)}) \wedge \dots \wedge \text{Кран-манипулятор (технологическая операция 1)} = X_1 \wedge \text{МО (манипуляционный объект)} = X_2 \wedge \text{Позиционирующий манипулятор (технологическая операция 2)} = X_3] \wedge \dots$

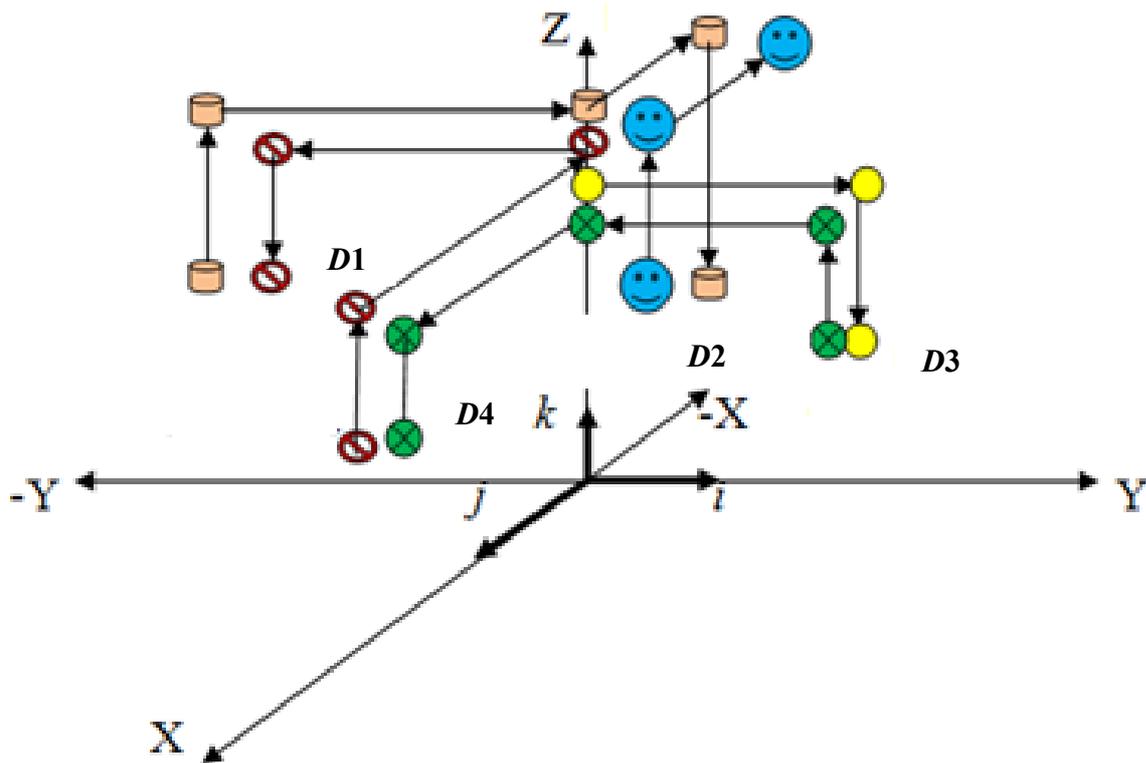


Рис. 2. Траектория движения крана-манипулятора в 3-х мерной системе координат

Из приведенного выше логического выражения можно определить, что «после позиционирования объекта на манипуляторе позиционирования кран-манипулятор захватывает этот объект». При этом другие технологические операции ГПЯ записываются как логические выражения, позволяющие точно описать весь процесс.

Для кинематического анализа перемещения крана-манипулятора с использованием логического описания его технологических операций на основе матричного метода рассчитываются кинематические параметры крана-манипулятора:

$$M_{x,y,z} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Из рис. 2 видно, что траектория крана-манипулятора включает 16 линейных перемещений, поэтому общие кинематические параметры обобщенные координаты dx , dy , dz можно определить следующим образом [3]:

$$M_{nk} = \prod_{i=1}^n M_i \quad (2)$$

где $n = 16$.

Таким образом, обобщенные координаты траектории движения крана-манипулятора определяются с помощью следующей матрицы:

$$M_{com} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 8\Delta z \\ 0 & 1 & 0 & 2\Delta y + 2\Delta(-y) \\ 0 & 0 & 1 & 2\Delta x + 2\Delta(-x) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

С помощью обобщенных координат траектории движения крана-манипулятора и логического алгоритма планирования его технологических операций разрабатывается система управления крана-манипулятора, обслуживающего все производственные механические модули в ГПЯ.

Если задана начальная позиция крана-манипулятора в ГПЯ, возможно определить параметр скорости захвата крана-манипулятора. Таким образом, скорость по траектории движения крана-манипулятора по координатам 0_x , 0_y , 0_z определяется в виде:

$$[v]_i = M_i[v]_0 = M_i \begin{bmatrix} v_{ox} \\ v_{oy} \\ v_{oz} \end{bmatrix} \quad (4)$$

где $[v]_0$ – координаты матрицы проекции вектора v в системе координат; M_i – матрица перехода в каждой системе координат.

Для эффективности автоматизации технологических операций крана-манипулятора в

ГПЯ необходимо создать ее локальную компьютерную сеть управления [6]. При этом требуется установить схему IP-адресации каждого механического модуля в ГПЯ и ее информационную связь с системой управления технопарка. При построении схемы адресации используется принцип маршрутизации. Количество и процентные ставки при управлении ГПЯ определяются размерами адресации.

IP-адреса, используемые в корпоративной сети, считаются частными. В соответствии с Интранет С-класса, для управления ГПЯ применяются IP-адреса С-класса по 192.168.1.0 ÷ 192.168.1.44.

Таким образом, 192.168.0.0 ÷ 192.168.0.44 ГПЯ обеспечивают обмен информацией путем объединения автоматизированных рабочих мест в корпоративную локальную сеть ГПЯ в технопарке. Сетевой узел и соответствующее автоматизированное рабочее место должны использоваться для обеспечения надежности и мобильности локальной сети.

Пользователям в локальной сети ГПЯ с технопарком можно применить не более 45

(1 запасное) автоматизированных рабочих мест и других сетевых устройств. В этом случае маска сети принимается как 45.45.45.0.

32-я степень IP-адреса, используемого в локальной сети ГПЯ и технопарка TCP/IP, определяют узловые точки каждого из автоматизированных рабочих мест. IP-адреса описаны на 4-х уровнях. Маски подсети для идентификации 44 узлов сети определяются двойными метками. Маршрутизаторы используются для обмена пакетами данных для обеспечения эффективности локальной сети TCP / IP ГПЯ.

192.168.1.0 ÷ 192.168.1.Xi (где $i = 0, 45$) IP-адреса разделены на две части. Первая часть – 192.168.1.0 – название сети ГПЯ, вторая – 0.0.0. Xi – узел адресов.

С учетом маски подразделения ГПЯ – 45.45.45.0. Маска подсети будет записана следующим образом на основе двойного кода этого числа:

00101101.00101101.00101101.00000000
По размещению IP-адресов и подсетевых отметок ГПЯ, адреса записываются в виде бинарных кодов (см. табл. 1):

1. IP-адреса и подсетевые отметки ГПЯ

Наименования разделов модулей ГПЯ	Процент области адреса, %	Адрес узловых точек	Адрес сети
Управляющая часть ГПЯ			192.168.1.0
Модуль_1 ГПЯ	20	0.0.0.1	
Модуль_2 ГПЯ	20	0.0.0.2	
Модуль_3 ГПЯ	20	0.0.0.3	
Модуль_4 ГПЯ	20	0.0.0.4	
Дополнение	20		

Учитывая число технологических операций крана-манипулятора в ГПЯ, при изготовлении продукции строятся матрицы отношений (число строк и столбцов соответствуют числу операций и станков, где элемент матрицы $S_{ij} = 1$ при выполнении операции краноманипулятором ГПЯ и $S_{ij} = 0$ при отсутствии операции крана-манипулятора).

Общее число узловых точек автоматизированных рабочих мест технологического процесса крана-манипулятора в ГПЯ определяется следующим образом [7]:

$$S_{dnij} = \begin{matrix} \begin{matrix} S_{11(d)} & S_{12(pr)} & S_{13(pr)} & S_{14(pr)} & S_{15(pr)} & S_{16(pr)} & 0 \\ S_{21(d)} & S_{22(k)} & S_{23(k)} & S_{24(k)} & S_{25(k)} & 0 & 0 \\ S_{31(d)} & S_{32(k)} & S_{33(k)} & S_{34(k)} & S_{35(k)} & 0 & 0 \\ S_{41(d)} & S_{42(k)} & S_{43(k)} & S_{44(k)} & S_{45(k)} & 0 & 0 \\ S_{51(d)} & S_{52(k)} & S_{53(k)} & S_{54(k)} & S_{55(k)} & S_{56(k)} & 0 \\ S_{61(tr)} & S_{62(e)} & S_{63(e)} & S_{64(e)} & S_{65(e)} & S_{66(e)} & S_{67(e)} \\ S_{71(l)} & S_{72(l)} & S_{73(l)} & S_{74(l)} & S_{75(l)} & S_{76(l)} & 0 \\ S_{81(tr)} & S_{82(m)} & S_{83(m)} & S_{84(m)} & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \end{matrix} \quad (5)$$

Учитывая выражение (5) определяются значения S_{ij} для каждой узловой точки. В этом случае матрица (5) будет иметь вид:

$$S_{dnij} = \begin{matrix} & S_{rp} & S_{fee} & S_m & S_{kb} & S_{ji} & S_{tem} & S_{ett} & S_{cis} \\ \begin{matrix} 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6 \\ 0 \\ 7 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 7 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6 \\ 6 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix} \quad (6)$$

где число i и j определяются в зависимости от количества выполненных технологических операций крана-манипулятора в рабочей зоне каждого модуля ГПЯ.

Выводы

1. Предложена компоновочная схема гибкой производственной ячейки с круговым размещением механических станков для изготовления мехатронных элементов инновационных проектов.

2. Проведены научные исследования по планированию и кинематическому анализу крана-манипулятора в гибкой производственной ячейке с помощью алгоритма моделирования логического предиката.

3. На основе трехмерной кинематической схемы крана-манипулятора определена траектория его линейного движения для обслуживания 4-х механических узлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зарубежный опыт работы технопарков, 2004. Информационное агентство «Эксперт РА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.raexpert.ru/researches/technopark/part4//>.
2. https://studref.com/318105/tehnika/gibkie_proizvodstvennye_yacheyki_sistemy_uchastki.
3. Шанин, В.А., Кончина, Л.В. Перспективы применения принципов компоновки оборудования для оптимизации производственных процессов. // *Агропродовольственная экономика*. – 2017. – № 6. – С. 49-56.
4. Шахинпур, М. Курс робототехники [Текст] / М.

Шахинпур; пер. с англ. С.С. Дмитриевой. – М.: Мир, 1990. – 527 с.

5. Гут, А.К. Математическая логика и теория алгоритмов. – Наследие, Диалог-Сибирь, 2003. – 108 с.

6. Шишов, О. В. Современные технологии промышленной автоматизации: учебник. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. – 2009. – 276 с.

7. Hüseyinov, E.B., Məmmədov, J.F., Abdullayev Kh.S., Talibov, N.H., Hüseyinov H.A. Cooperation in higher education. Ways of Promoting Excellence in Higher Education. / Pegem Akademi: Ankara. Turkey, – 2018. – pp. 179-202.

REFERENCES

1. Foreign Experience of Techno-park Work, 2004. News Agency Expert RA [Electronic Resource]. Access mode: <http://www.raexpert.ru/researches/technopark/part4//>.
2. https://studref.com/318105/tehnika/gibkie_proizvodstvennye_yacheyki_sistemy_uchastki.
3. Shanin, V.A., Konchina, L.V. Prospects in Application of Equipment Arrangement Principles for Engineering Process Optimization. // *Agricultural Production Economy*. – 2017. – №.6. – pp. 49-56.
4. Shahinpur, M. Robotics Course [Text] / M. Shahinpur; transl. from Engl. S.S. by Dmitrieva. – М.: Mir, 1990. –527 p.
5. Guts, A.K. *Mathematical Logic and Algorithm Theory*. – Heritage, Dialogue – Siberia, 2003. – 108 p.
6. Shishov, O.V. *Modern Technologies in Industrial Automation: textbook* – Saransk: Publishing House of Mordovia University, 2009. –276 p.
7. Hüseyinov, E.B., Məmmədov, J.F., Abdullayev Kh.S., Talibov, N.H., Hüseyinov H.A. Cooperation in higher education. Ways of Promoting Excellence in Higher Education. / Pegem Akademi: Ankara. Turkey. 2018. – pp. 179-202.

Рецензент д.т.н. А.Р. Ингеманссон

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала (4832) 51-51-38, 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Верстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов.

Сдано в набор 17.03.2020. Выход в свет 30.03.2020.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

