

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

При разработке технологического процесса сборки изделия проводится анализ всех влияющих на производство факторов, включая возможность сопряжения во времени технологических процессов, ведущихся параллельно на одних и тех же рабочих местах. Для наглядности и последующей автоматизации предлагается построение и использование математической модели производственного участка в виде сети Петри. Цель данной статьи — создание адекватной математической модели сборочного участка для оперативного управления рабочим временем.

Ключевые слова: математическое моделирование, сеть Петри.

Разработке маршрутного технологического процесса сборки предшествует изучение конструкции изделия, которое завершается составлением технологических схем общей и узловой сборки. Технологическая схема сборки содержит информацию о структуре и порядке присоединения элементов изделия, комплектности сборочных единиц и соединений. При разработке маршрутного технологического процесса сборки на основе схемы сборки устанавливается содержание сборочных операций с таким расчетом, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась по возможности однородная по своему характеру и технологически законченная работа. В дальнейшем построенная схема сборки служит для выявления и подробной разработки операций, определения видов работ, средств сборки и других параметров, образующих описание сборочных операций [1].

Проектирование технологических процессов сборки и механической обработки на современных промышленных предприятиях сопряжено с трудностями, вызванными тем, что производственный процесс на предприятиях зачастую является дискретным — в привычном ритме изготовления и сборки изделий появляются штучные заказы, экспериментальные изделия.

При этом весьма актуальным представляется не только необходимость составления оптимальных технологических процессов изготовления всех изделий, но и взаимное их сопряжение с учетом всех параметров — от времени на операцию и взаимного расположения оборудования до веса и габаритов каждого компонента.

Таким образом, сейчас перед инженером-технологом встает задача не только проектирования рационального технологического процесса, но и проблема диспетчеризации и управления имеющимися на производственном участке ресурсами, оборудованием и рабочим временем.

Поскольку творческий процесс анализа конструкции сборочной единицы, разработки схемы сборки и маршрутного технологического процесса сборки является трудоемким, многовариантным

и трудно формализуемым, и при этом влияет на последующую эффективность функционирования технологического процесса сборки, то для его выполнения желательно использовать компьютерное моделирование для обоснования рациональности и оптимальности принятого варианта [1].

Для создания математической модели функционирования производственного участка необходимо выделить и учесть следующие наиболее важные факторы:

- перемещение изделий и материалов по производственному участку;

- изменение их состояния (постепенная сборка изделия из отдельных деталей, изменение заготовки в процессе изготовления отдельной детали);

- изменяющееся количество задействованного в технологических процессах оборудования (внезапная поломка станка, приспособления);

- изменения фонда рабочего времени, связанные с персоналом, выполняющим работу (изменение количества работающих в данный момент времени или уровня их квалификации и др.);

- случайные временные факторы (незапланированные простои в работе)

- взаиморасположение на планах участка или цеха оборудования (станков, верстаков, шкафов с инструментом, сборочных приспособлений, промежуточных складов и др. и его взаимосвязь.

Поскольку объектом моделирования в данном случае являются не только связи между элементами, но и одновременно протекающие во времени и взаимосвязанные процессы, необходимо применить модель особого рода: структурно-функциональную, одновременно отражающую структуру и функционирование моделируемого объекта. Одним из оптимальных вариантов создания математической модели в данном случае является применение графов. Наиболее универсальным методом работы с графами можно считать теорию сетей Петри — эффективный инструмент моделирования дискретных процессов. Их основные особенности — возможность отображать параллелизм, асинхронность, иерархичность моделируемых объектов более простыми сред-

ствами, чем при использовании других средств моделирования [2].

Известны примеры создания математических моделей дискретного производства, в частности [3], основанных на применении сетей Петри с разработкой алгоритма автоматического построения сетей Петри на основе производственных данных. Однако проблема создания математической модели функционирования производственного участка решена лишь частично, не проработаны вопросы совместного учета специфики проектирования технологических процессов сборки и адекватного метода управления имеющимися материальными и временными ресурсами.

Задачу моделирования можно разделить на несколько последовательных подзадач:

- 1) моделирование процесса сборки с учетом распределения технологического процесса по рабочим местам;
- 2) моделирование подготовительных процессов;
- 3) моделирование завершающих процессов – окраски, консервации, упаковки и др.
- 4) моделирование процесса последовательной сборки изделия.

Рассмотрим процесс решения данных задач на примере моделирования технологического процесса сборки узла «ступица» на примере типового расположения в цехе сборочного участка [4]. Изделие производится серийно, потерь времени, связанных с работой персонала и оборудования, нет.

План участка механосборочного цеха представлен на рис. 1. Пусть имеется серийно производимый узел «ступица» с готовым технологическим процессом сборки, укрупненно состоящий из:

- комплектования наборов деталей на складе и их транспортировки к местам сборки (участок 1);
- непосредственно сборки узлов (участок 2);
- монтаж узлов на изделие (участок 3);
- испытания и отладки (участок 4);
- отладки, окраски, маркировки (участок 5);
- консервации, упаковки, отгрузки (участок 6).

Причем время операций и, соответственно, пропорциональное количество рабочих мест можно соотносить как:

$$t_1 = 4 \cdot t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = 2 \cdot t_6,$$

где t_1, t_2, \dots, t_6 — суммарное время операций на соответствующем участке.

Решим задачу моделирования, поэтапно выполняя вышеприведенные подзадачи.

Решение подзадачи 1)...3). Введем соответствие между элементами сети Петри и элементами процесса производства изделия — рабочими местами на схеме участка сборочного цеха и операциями (рис. 1). Пусть места $P_0..P_9$ — рабочие места на соответствующих технологических операциях, P_{10} — место погрузки готовых изделий; переходы $T_1..T_6$ — задержки во времени, соответствующие временам $t_1..t_6$, причем переходы T_2 и T_6 срабатывают лишь при возбуждении всех ведущих к ним связей (детали транспортируются с операции на операцию партиями; синхронность выполнения уже учтена). Из соотношения времени следует: необходимо для сохранения такта производства производить одновременную сборку четырех узлов на четырех рабочих местах, располагающихся на участке 2.

Решение подзадачи 4). В качестве исходных данных моделирования будем рассматривать сборочную единицу, состоящую из деталей осесимметричной

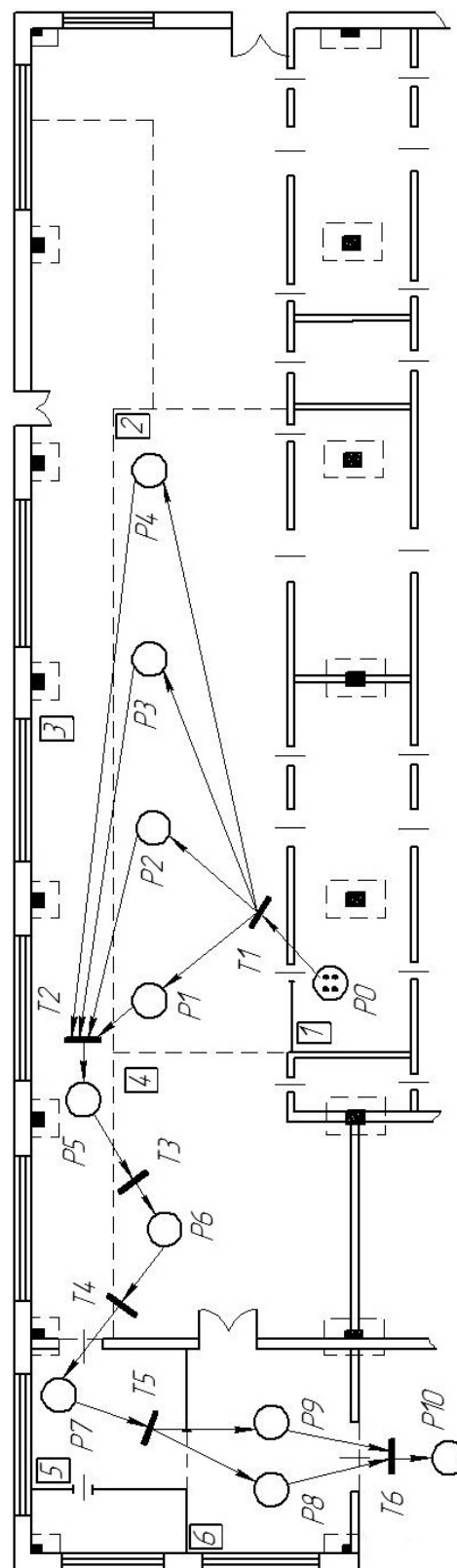


Рис. 1. Распределение производственного процесса на плане цеха:

1 — склад готовых деталей; 2 — сборка узлов и комплектов серийных машин; 3 — монтаж серийных машин; 4 — испытание и отладка машин; 5 — окраска и отладка машин; 6 — консервация и упаковка

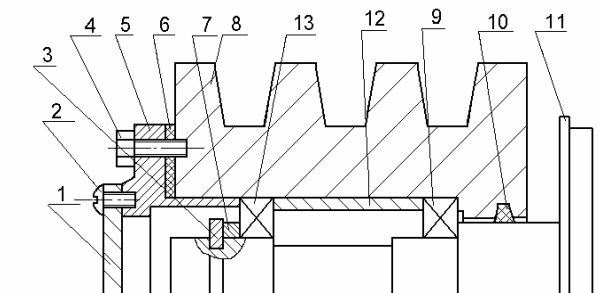


Рис. 2. Эскиз сборочной единицы:
 1 — крышка; 2 — винт (2 шт.); 3 — кольцо стопорное;
 4 — болт (4 шт.); 5 — фланец; 6 — прокладка;
 7 — кольцо компенсационное; 8 — шкив;
 9, 13 — подшипник; 10 — кольцо уплотнительное;
 11 — ступица; 12 — втулка

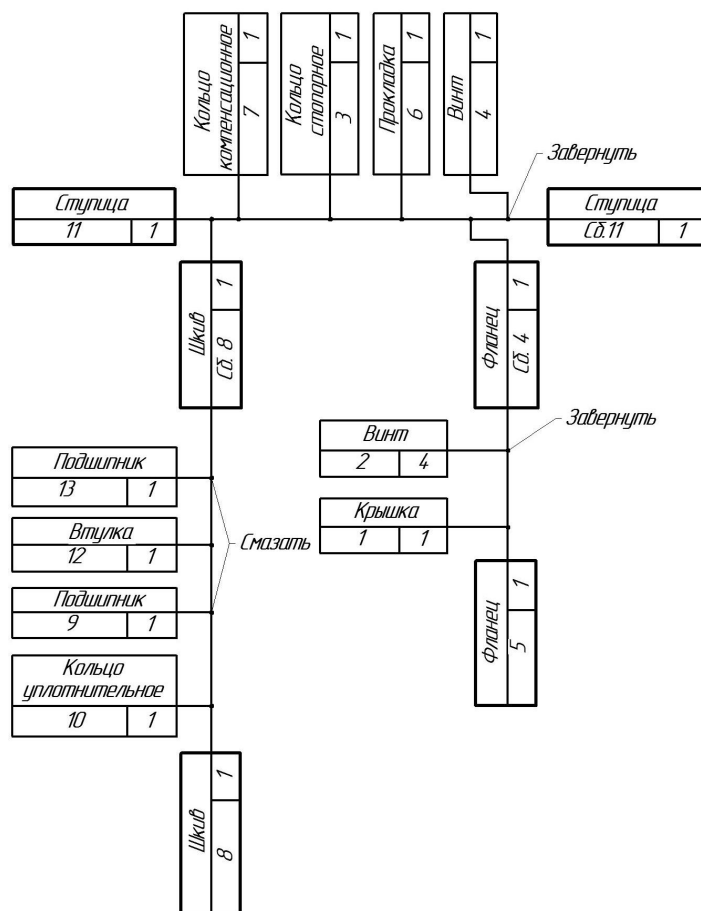


Рис. 3. Схема сборки узла

формы, — узел «Ступица» и схему сборки этого узла [5]. На рис. 2 представлен модифицированный эскиз сборочной единицы с указанием позиций и наименований деталей, а на рис. 3 — соответствующая схема сборки. На основе схемы сборки может быть получена математическая модель схемы сборки в виде сети Петри [6]. Предварительно схема сборки преобразуется в изображение схемы сборки [7], в которой прямоугольники заменены кружками с номерами деталей (рис. 4а), после чего кружки с номерами деталей преобразуются (рис. 4б) в вершины сети Петри ($P_1 - P_{13}$), а точки присоединения деталей — в переходы сети ($t_1 - t_{12}$). Вводятся дополнительные вершины сети, отражающие результат сборки после соединения двух элементов узла ($P_{14} - P_{25}$) — (рис. 4б).

Итогом суммирования результатов, полученных при решении данных задач, является математическая модель — сеть Петри, отражающая структуру и функционирование процесса сборки узла «ступица». Модель представлена на рис. 5. Позициям сети $P_1...P_4$ соответствуют подсети, идентичные представленной на рис. 4б.

Таким образом, в одной сети Петри удалось объединить данные о технологическом процессе сборки и его пространственно-временном размещении на участке сборочного цеха, причем формирование сети осуществляется непосредственно, с применением планировки участка цеха и схемы сборки узла, и, следовательно, может быть автоматизировано.

Предложено решение задачи совместного учета специфики проектирования технологических про-

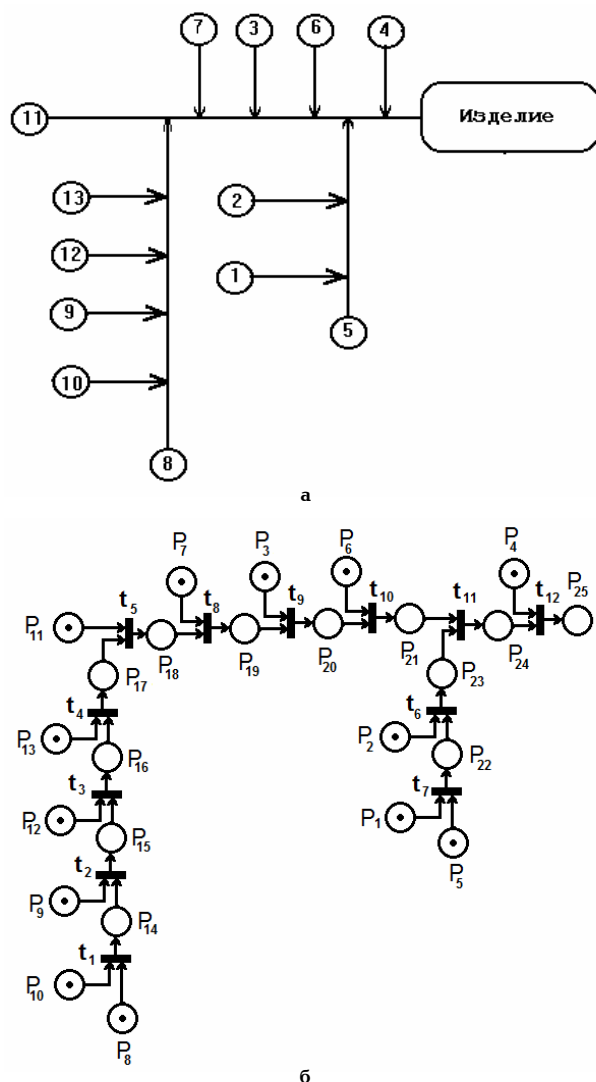


Рис. 4. Преобразование схемы сборки (а) в сеть Петри (б)

цессов сборки при создании рационального для данных условий технологического процесса сборки и адекватного метода управления имеющимися материальными и временными ресурсами. Разработан подход, на основе применения сетей Петри, связанного описания схемы сборки и траектории перемещения необходимых компонентов по сборочному цеху. Актуальность данной задачи обусловлена необходимостью экономии времени, энергии, организационных затрат. В связи с этим полученные результаты могут найти применение при распределении операций технологического процесса по цехам и участкам, календарном планировании, планировании размещения оборудования, определении объема транспортных потоков и других показателей.

Библиографический список

1. Технология машиностроения. В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 564 с.

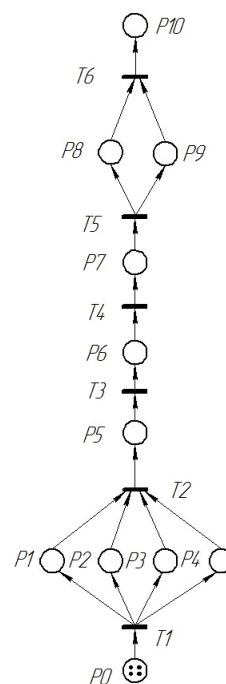


Рис. 5. Готовая математическая модель сборочного участка

2. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств : учеб. пособие для вузов / С. В. Пантюшин [и др.] ; под ред. И. М. Макарова. — М. : Высш. шк., 1986. — 175 с.

3. Степаненко, Е. В. Методы и средства имитационного моделирования систем управления материальными ресурсами дискретного машиностроительного производства на основе сетей Петри : автореф. дис. ... канд. тех. наук / Е. В. Степаненко. — Комсомольск-на-Амуре, 2013. — 20 с.

4. Чарнко, Д. В. Основы проектирования механосборочных цехов / Д. В. Чарнко, Н. Н. Хабаров. — М. : Машиностроение, 1975. — 349 с.

5. Аверченков, В. И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / В. И. Аверченков [и др.]. — М. : Машиностроение, 1988. — 192 с.

6. Мартынов, В. Г. Применение сетей Петри при моделировании схемы сборки / В. Г. Мартынов, В. Б. Масыгин // Современные проблемы машиностроения : сб. науч. тр. VII Межд. науч.-техн. конф. / под ред. А. Ю. Арляпова, А. Б. Ки-ма ; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2013. — С. 323–327.

7. Масыгин, В. Б. Моделирование конструкции сборочной единицы и технологической схемы сборки при помощи графов / В. Б. Масыгин // Прикладные задачи механики : сб. науч. тр. / Под ред. В. В. Евстифеева. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 1999. — С. 130–134.

МАРТЫНОВ Виктор Геннадьевич, аспирант, ассистент кафедры «Технология машиностроения».

МАСЯГИН Василий Борисович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Технология машиностроения».

Адрес для переписки: masaginvb@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23.12.2013 г.

© В. Г. Мартынов, В. Б. Масыгин