



К.С. Кульга, А.А. Китаев

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ГПС НА ОСНОВЕ МЕТОДА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЛОЖЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

(ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический
университет «УГАТУ»)

Актуальность проблемы. В настоящее время ракетно-космические, авиационные, авиадвигателестроительные и машиностроительные предприятия (далее, предприятия) характеризуется быстрой сменяемостью и значительной номенклатурой выпускаемых партий деталей и сборочных единиц (ДСЕ). В этих условиях дальнейшее развитие предприятий будет направлено на применение ГПС [1. Сергеев А.И. Методология автоматизации ранних этапов проектирования производственных систем в машиностроении: дис. ... д-ра. техн. наук. ОГУ. Оренбург, 2017. 300 с.

2. Shang J., Sueyoshi T. A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system //European Journal of Operational Research. – 1995. – Т. 85. – №. 2. – С. 297-315.

3. Saitou K., Malpathak S., Qvam H. Robust design of flexible manufacturing systems using, colored Petri net and genetic algorithm //Journal of intelligent manufacturing. – 2002. – Т. 13. – №. 5. – С. 339-351.

4. Кульга К.С., Китаев А.А. Имитационное моделирование гибких производственных систем на стадии эскизного проектирования // СТИН. 2017. №6. С. 2-10.]. Комплексная автоматизация предприятий является одним из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (интеллектуальные производственные технологии, роботизированные системы; новые материалы и технологии конструирования)³. В то же время внедрение универсальных и готовых дорогостоящих решений ГПС, без учёта специфики конкретного производства предприятий, может стать убыточным [1. Сергеев А.И. Методология автоматизации ранних этапов проектирования производственных систем в машиностроении: дис. ... д-ра. техн. наук. ОГУ. Оренбург, 2017. 300 с.

2. Shang J., Sueyoshi T. A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system //European Journal of Operational Research. – 1995. – Т. 85. – №. 2. – С. 297-315.

3. Saitou K., Malpathak S., Qvam H. Robust design of flexible manufacturing systems using, colored Petri net and genetic algorithm //Journal of intelligent manufacturing. – 2002. – Т. 13. – №. 5. – С. 339-351.

³ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642.



4. Кульга К.С., Китаев А.А. Имитационное моделирование гибких производственных систем на стадии эскизного проектирования // СТИН. 2017. №6. С. 2-10., 1. Сергеев А.И. Методология автоматизации ранних этапов проектирования производственных систем в машиностроении: дис. ... д-ра. техн. наук. ОГУ. Оренбург, 2017. 300 с.

2. Shang J., Sueyoshi T. A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system // European Journal of Operational Research. – 1995. – Т. 85. – №. 2. – С. 297-315.

3. Saitou K., Malpathak S., Qvam H. Robust design of flexible manufacturing systems using, colored Petri net and genetic algorithm // Journal of intelligent manufacturing. – 2002. – Т. 13. – №. 5. – С. 339-351.

4. Кульга К.С., Китаев А.А. Имитационное моделирование гибких производственных систем на стадии эскизного проектирования // СТИН. 2017. №6. С. 2-10.]. Экономическая эффективность внедрения ГПС определяется совокупностью конструкторских, технологических, производственных, организационных, экономических и управленческих решений. Следовательно, результативность внедрения ГПС, может быть достигнута с учетом значений различных проектных параметров (критериев) ГПС, определение которых, является трудоёмкой задачей.

В связи с этим, на стадии эскизного проектирования (технического предложения) актуальной является задача структурного синтеза компоновок ГПС на основе компьютерного моделирования процессов функционирования производственной системы для изготовления различных партий ДСЕ, планирования загрузки дорогостоящего оборудования и управления ГПС.

Цель: разработка алгоритмического и программного обеспечения автоматизированного синтеза имитационных моделей ГПС на основе метода модифицированных вложенных сетей Петри.

Теоретическая часть. Метод имитационного моделирования ГПС на основе модифицированных вложенных сетей Петри (МВСП) был представлен в работе [4]. Данный метод отличается наглядностью описания моделей с высокой степенью детализации, нестационарными входными параметрами модели и возможностью изменения ее топологии путем присвоения фишкам операций, представленных в виде элементарных сетей Петри.

Однако, несмотря на наглядность представления моделей, их синтез является нетривиальной задачей для инженера, не имеющего компетенций в теории имитационного моделирования с помощью сетей Петри. С учетом этого, актуальной задачей является разработка метода автоматизированного синтеза рассматриваемых моделей ГПС.

Основными исходными данными для построения моделей ГПС являются: технологический процесс (ТП) изготовления ДСЕ из заданной партии и соответствующий перечень основного технологического и вспомогательного оборудования.

Моделирование ГПС выполняется для заданной партии ДСЕ. Данные по ТП для каждой ДСЕ отражают состав и последовательность выполнения техно-



логических операций на соответствующем оборудовании (маршрутная карта), состав и последовательность выполнения технологических переходов (операционная карта), перечень приспособлений и инструментов для выполнения технологической операции. С точки зрения моделирования ГПС наиболее значимыми являются именно последовательность выполнения операций с привязкой к оборудованию, а также время выполнения технологической операции для моделирования с точностью до операции. Для моделирования с точностью до технологического перехода необходимы данные по составу и времени выполнения каждого технологического перехода. Кроме того, необходимы данные плана производства изготовления партий ДСЕ. Перечисленные исходные данные могут быть как стационарными, так и не стационарными (то есть изменяющимися во времени).

Оптимальное количество основного технологического оборудования (металлорежущие станки) может быть определено по результатам ряда итераций моделирования с разными параметрами. Однако состав оборудования выбирается в соответствии с заданной партией ДСЕ. Для оборудования задается непосредственно его модель, представленная как часть МВСП. Для этого целесообразно использовать библиотеку готовых моделей. Для определения дополнительных параметров ГПС необходимы данные по габаритам и стоимости оборудования. Выбор вспомогательного оборудования (промышленные роботы, спутники паллет, станции загрузки, накопители и др.) осуществляется в соответствии с выбранным основным технологическим оборудованием. Для вспомогательного оборудования также задается его модель, представленная как часть модифицированной вложенной сети Петри.

Метод автоматизированного синтеза имитационной модели ГПС. ГПС может быть описана как система, состоящая из набора основного технологического и вспомогательного оборудования (M), набора материальных и информационных связей между ними (F).

К материальным связям относятся потоки перемещения заготовок, ДСЕ, либо инструмента между оборудованием.

К информационным связям относятся потоки передачи информации: заказ на перемещение материалов от оборудования к оборудованию, передача управляющих программ на станки с ЧПУ.

Наглядное представление такой системы выглядит в виде ориентированного графа, вершины которого описывают оборудование, а дуги описывают информационные потоки:

$$FMS = \{M, F, H\},$$

где H - параметры для преобразования модели в модифицированную сеть Петри.

Оборудование M представляет собой типовой элемент, описываемый фрагментом МВСП (NPN), набором входов и выходов ($inP, outP$), а также перечнем ресурсов (R) предназначенных для обмена фишками МВСП между обо-



рудованием. Ресурсы могут интерпретироваться как обрабатываемые заготовки, ДСЕ и необходимая технологическая оснастка.

Связи F характеризуются направлением и оборудованием (M), которое определяет дополнительные условия перемещения ресурсов (R), между оборудованием за время (T).

Пример модели ГПС, состоящей из двух станков с ЧПУ, двух промышленных роботов (ПР1, ПР2), складов заготовок и деталей, а также промежуточного накопителя, представлен на рисунке 1.

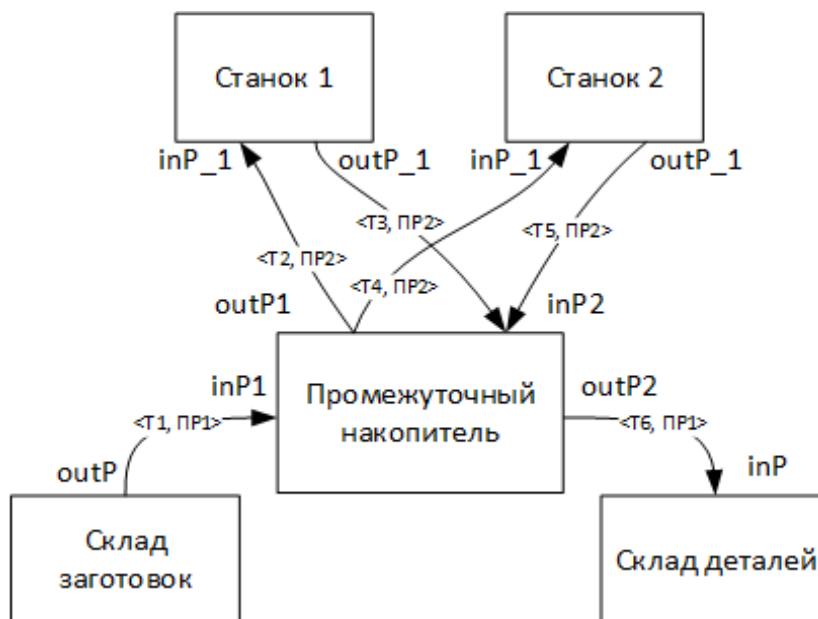


Рисунок 1 - Пример модели ГПС

Параметры преобразования H , описывают связи между представленным представлением модели ГПС и имитационной моделью ГПС представленной в виде МВСП (рис. **Ошибка! Неверная ссылка закладки.**). В представленную модель (рис. 1) можно добавить или заменить оборудование с установлением материальных и информационных связей. Использование типовых элементов оборудования (M) позволяет многократно использовать одинаковые фрагменты МВСП, связанные различными наборами связей (F), что упрощает как формирование модели ГПС, так и алгоритм автоматизированного синтеза имитационной модели ГПС в виде МВСП.

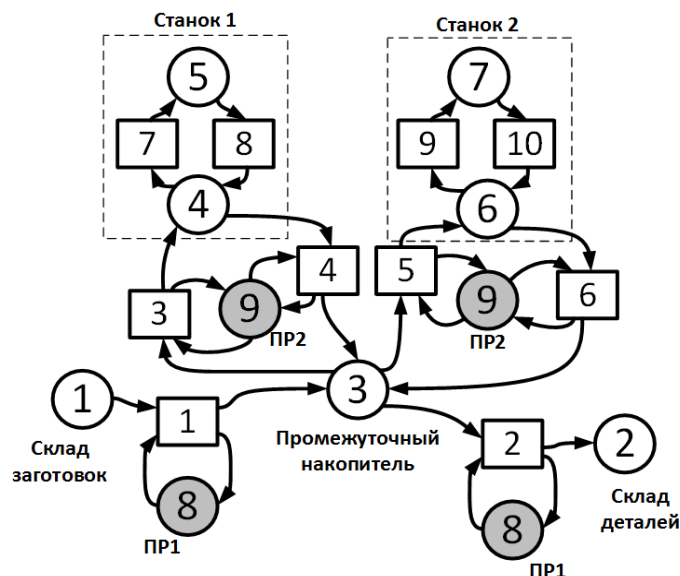


Рисунок 2 - Имитационная модель ГПС представленная в виде МВСП

Заключение. Представлен новый метод автоматизированного синтеза имитационных моделей ГПС на основе МВСП. Метод отличается наглядностью представления и разработки новых моделей ГПС с возможностью использования библиотеки готовых элементов и ранее полученных результатов. Метод обеспечивает возможность изменения моделей ГПС для обеспечения итерационного моделирования ГПС с целью поиска оптимальных параметров.

Литература

1. Сергеев А.И. Методология автоматизации ранних этапов проектирования производственных систем в машиностроении: дис. ... д-ра. техн. наук. ОГУ. Оренбург, 2017. 300 с.
2. Shang J., Sueyoshi T. A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system //European Journal of Operational Research. – 1995. – Т. 85. – №. 2. – С. 297-315.
3. Saitou K., Malpathak S., Qvam H. Robust design of flexible manufacturing systems using, colored Petri net and genetic algorithm //Journal of intelligent manufacturing. – 2002. – Т. 13. – №. 5. – С. 339-351.
4. Кульга К.С., Китаев А.А. Имитационное моделирование гибких производственных систем на стадии эскизного проектирования // СТИН. 2017. №6. С. 2-10.