



*Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2019, Том 10, № 2, С. 147 – 152*

*Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
[http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/  
ejournal@pnu.edu.ru](http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru)*

УДК 621.9.06

© 2019 г. **А. Д. Рыков,**  
**В. М. Давыдов,** д-р техн. наук  
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)  
**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

В работе представлена подход к формированию технологических процессов для гибких производственных систем, с применением математического аппарата сетей Петри, раскрывается суть разрабатываемого подхода.

**Ключевые слова:** сеть Петри, числовое программное управление, технологический процесс, автоматизация.

**A. D. Rykov, V. M. Davydov**  
**FORMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES BASED  
ON PETRI NETS**

The paper presents an approach to the formation of technological processes for flexible production systems, using the mathematical apparatus of Petri nets, reveals the essence of the developed approach.

**Keywords:** Petri net, numerical program control, technological process, automation.

Цель работы заключается в разработке подходов к формированию технологических процессов на основе математического аппарата сетей Петри, для достижения наибольшей эффективности и производительности получаемых технологических процессов.

В соответствии с целью было поставлено несколько задач:

1. Разработка методики построения технологических процессов на основе сетей Петри.
2. Подбор программного обеспечения и проведение тестов прототипа системы.
3. Оценка результатов тестов и подведение итогов.

Развитие технологий открывает все новые возможности во всех сферах жизни человека. Множество технологий не только облегчает работу человека, но и делают ее безопаснее. В работе рассматривается подход к формированию технологических процессов на основе математического аппарата сетей Петри. Основная суть самой методики заключается в использовании аппарата сетей Петри, оболочки для расчета технологических процессов изделий и выявления, из его возможных вариантов, самого эффективного. В целом, весь подход можно описать несколькими этапами:

1. Ввод данных
2. Обработка данных
3. Моделирование
4. Контроль производимых операций
5. Оценка полученных данных

Первоначальными данными для работы подхода, являются параметры готового изделия, для которого разрабатываются технологические процессы. Устройством ввода может служить программное обеспечение, специализирующиеся на инженерии. Далее полученная информация о изделии должна быть обработана и подготовлена к этапу моделирования. Для данного этапа целесообразно применить нейронные сети. Они позволяют эффективно проводить обработку полученной информации и ее подготовку для дальнейшего моделирования.

Задача кластеризации относится к статистической обработке, а также к широкому классу задач обучения без учителя.[3,8].

К основным параметрам изделия относятся: поверхности, их геометрия, относительное местоположение друг относительно друга и требования, предъявляемые к этим поверхностям (точность, шероховатость и т.д.). Также предполагается присутствие общих параметров и требований, к примеру, это может быть условие влияющие на всю обработку изделия, материал или метод термической обработки. По результатам распознавания изделия нейронной сетью, определяются операции, необходимых для изготовления изделия. Полученные переходы которых формируются в последовательности, возможные технологические процессы. Наложение ограничений на полученные операции и их комбинации, позволить отбраковать некорректные технологические процессы. Таким образом формируется некое количество технологических процессов. В завершении обработки данных, полученные технологические процессы приходят на этап моделирования.

Аппарат сетей Петри, в разрабатываемом подходе формирования технологических процессов, используется для проведения моделирования, полученных ранее, технологических процессов, с выявлением самого эффективного. [4] Данный математический аппарат был выбран по нескольким причинам:

1. Безопасность. Позиция сети Петри называется безопасной, если число фишек в ней никогда не превышает единицы. Сеть Петри безопасна, если безопасны все ее позиции.

2. Сохраняемость. Сеть Петри А называется строгосохраняющей, если сумма фишек по всем позициям остается строго постоянной в процессе выполнения сети.

3. Достижимость.

4. Специализация математического аппарата сетей Петри совпадает с характером производимых расчетов.

Были выявлены негативные факторы:

1. Ограниченность. Это свойство связано с введением ограничений на число меток в позициях.

2. Низкая пропускная способность математического аппарата сетей Петри, при практической реализации. Данный фактор не должен оказывать влияния при работе с простой и средней сложности примерами технологических процессов, однако, при работе с большими массивами данных, данное свойство может сказаться не лучшим образом на производительности системы в целом.

Во временных сетях Петри каждому переходу сопоставляются два момента времени. Переход, может быть запущен, только если он был разрешен к моменту времени. Если он является разрешенным, то должен быть запущен до наступления момента времени.

Применение временных сетей Петри, позволяет с высокой точностью проводить расчеты затрат времени при производстве. К примеру, расчет суммы машинного, вспомогательного, технологического времени. Получение подобных данных позволяет сделать заключение о эффективности разработанного технологического процесса.

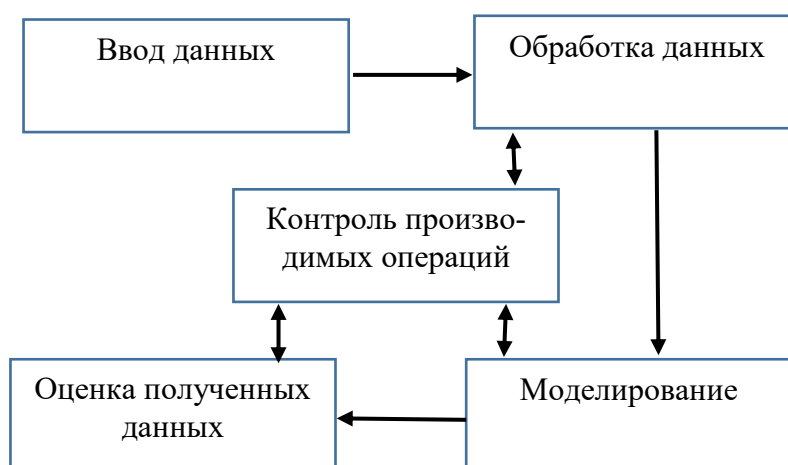


Рис. 1. Общий вид системы

Подводя итог всего выше сказанного, можно утверждать о эффективности системы, использующей подход формирования технологических процессов на основе сетей Петри. Система, изображенная на рисунке 1, полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ей.

Разрабатываемый подход, использующий методику формирования технологических процессов на основе сетей Петри, был апробирован на практическом примере. Была сформированная рабочая система, имеющая в основе разрабатываемый подход.

В процессе работы было выбрано программе обеспечение отвечающие требованиям системы. В ходе апробации применялось:

1. Язык C++ — компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения. Поддерживает такие парадигмы программирования, как процедурное программирование, объектно-ориентированное программирование, обоб-

щённое программирование. Язык имеет богатую стандартную библиотеку, которая включает в себя распространённые контейнеры и алгоритмы, ввод-вывод, регулярные выражения, поддержку многопоточности и другие возможности.

2. Язык JavaScript— мультипарадигменный язык программирования. Поддерживает объектно-ориентированный, императивный и функциональный стили. Является реализацией языка ECMAScript.

3. Petri .NET Simulator 2.0 -Petri .NETSimulator - это приложение, которое можно использовать для рисования и моделирования сетей Петри. Приложение разработано для моделирования, анализа и моделирования гибких производственных систем, но может быть использовано и для других систем дискретных событий. Сетевые объекты Петри («Места и переходы») могут быть сгруппированы в подсистемы.

На данном этапе тестирования не предусматривается программная оболочка, функция ввода данных и передача их от одного этапа к другому, отсутствовала. Данные отправлялись вручную, на общий результат данный фактор повлиять не должен.

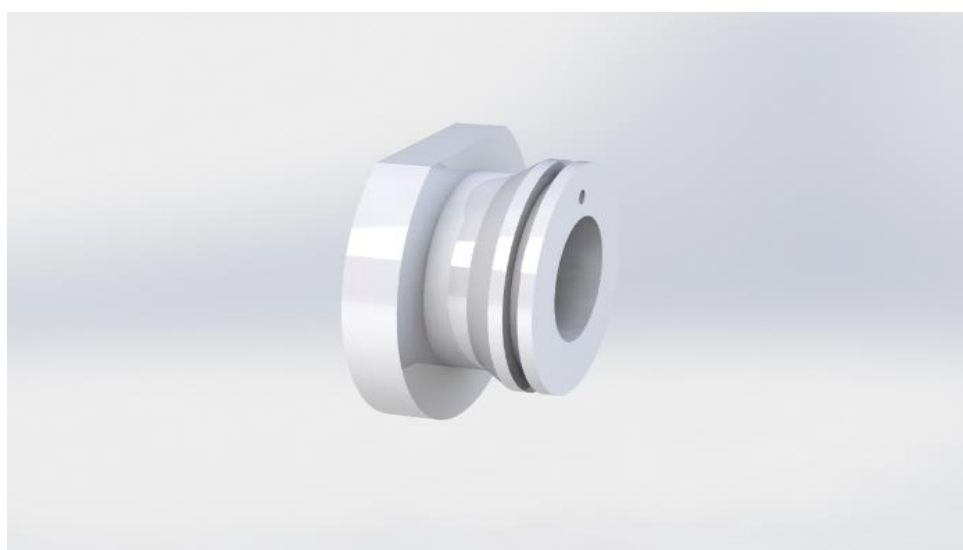


Рис. 2. Изделие общий вид

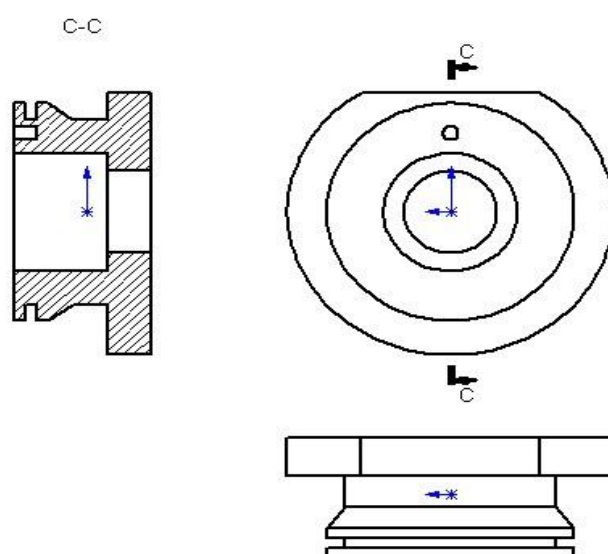


Рис. 3. Чертеж изделия.

Этап обработки данных, совместно с этапом ввода, производит обработку входной информации об изделии. Планируется производить ввод данных используя 3D моделирование, изображенное на рисунке 2, однако, для упрощения проводимых экспериментов применялся вид, указанный на рисунке 3. Это позволило применить более простой метод распознавания фигур с помощью нейронных сетей, используемый для распознавания текстов и символов. Данная методика позволила определить геометрию поверхностей изделия, их расположение относительно друг друга.

Каждой поверхности присваивается свой способ обработки, конечный список проводимых операций имеет вид:

1. Точение внешнее черновое
2. Точение внутреннее черновое
3. Сверление центральное
4. Сверление торцевое
5. Отрезка
6. Фрезерование паза
7. Точение канавки
8. Подрезка торца
9. Расточка чистовая

Далее определяются возможные комбинации данных переходов. Для сокращения количества возможных технологических процессов и отсеивания потенциально ошибочных, вводятся условия, при которых таковые вариант отбраковывается. При проведении апробации, первоначальное количество технологических процессов было завышенным, большинство из них нарушали технологии обработки изделия. Внедрение ограничений на операции и их комбинации, позволило получить готовые технологические процессы, отвечающие всем рекомендациям и требованиям при обработке. Ограничения, применяемые разрабатываемом подходе, могут иметь вид простых условий: подрезание торца в начале, отрезка в конце, черновое точение до чистового и т.д.

Используя программное обеспечение Petri .NET Simulator 2.0 было произведено моделирование, полученных ранее технологических процессов, с внесением параметров времени. Конечный результат состоял из общего времени необходимого для производства изделия, по всем технологическим процессам. На основании полученных данных давалась оценка эффективности полученных технологических процессов.

Полученные ранее данные могут использоваться на программном уровне, так и быть извлечены из системы для проверки или использования.

Система в данном эксперименте способна производить расчеты по времени, затрачиваемом на реализацию обработки изделия, при малом количестве данных. Однако, цель эксперимента была достигнута, полученные данные говорят о состоятельности системы и подхода, который она использует в основе.

Согласно результатам, полученным при апробации, ставится несколько задач:

1. Организация внешней программной оболочки для автоматизации процессов внутри системы.
2. Внесение дополнительных параметров изделия, влияющих на процесс обработки.
3. По возможности устранить негативные факторы присущие системе или ее частям.

Применение системы, благодаря высокой гибкости и универсальности не ограничивается технологическими процессами отдельных изделий. Специфика аппарата сетей Петри позволяет производить технологические процессы и объединять их сложные схемы, с возможностью имитации производственных единиц, таких как участок, цех и

т.д. Возможности системы и методики в плане обработки данных, внедрение дополнительных параметров позволит учитывать такие факторы как материал изделия, находящийся в наличии инструмент, оборудование и специфики конкретных производств. В результате, была проведена апробация системы, использующей подход формирования технологических процессов на основе сетей Петри. Проведенные тесты подтвердили работоспособность и рентабельность проводимых работ.

### Список литературы

- [1] Базров Б.М., Диланян Р.З., Мельников Г.Н. Групповая и модульная технология – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 96
- [2] Многомерный статистический анализ в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS: Учеб. пособие / Под ред. И.В. Орловой. – М.: Вузовский учебник, 2011. – 310 с.
- [3] Давыдов В.М., Прудников В.Я., Кузнецов Д.И. Основы кластерного анализа классификации деталей // Методы и средства обработки информации. Сборник научных трудов НИИ КТ. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 11. – С. 65-68.
- [4] Давыдов В.М., Иванов В.В., Желтов С.В. моделирование функционирования станка методом сетей Петри // Синергетика – 2000/ Сб. Материалов международной научной конференции. – Комсомольск-на-Амуре: КнаАГТУ, 2000. С. 269-271.
- [5] Акопов, А. С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум / А.С. Акопов. – М.: Юрайт, 2015. – 390 с.
- [6] Моделирование систем / И.А. Елизаров и др. – М.: ТНТ, 2013. – 136 с.
- [7] Системы автоматического регулирования. Практикум по математическому моделированию. – М.: Феникс, 2015. – 464 с.
- [8] Мандель И. Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.