



*Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2018, Том 9, № 2, С. 190 – 196*

*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

© 2018 г. **А. Д. Рыков,**

**В. М. Давыдов,** д-р техн. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## **ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ГИБКИМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МОДУЛЯМ МЕХАНООБРАБОТКИ ДЛЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В данном материале представлена методология формирования технических требований к гибким производственным модулям механообработки, основанная на теории маркированных графов – сетей Петри, раскрывается суть разработанной методики и сравнивается с применяемыми на данный момент технологиями.

**Ключевые слова:** теория графов, сети Петри, технические требования, гибкие производственные модули.

**A. D. Rykov, V. M. Davydov**

## **THE FORMATION OF TECHNICAL REQUIREMENTS TO FLEXIBLE MANUFACTURING MODULES MACHINING MULTIPRODUCT MANUFACTURING**

This material presents a methodology for the formation of technical requirements for flexible production modules for machining, based on the theory of labeled graphs - Petri nets, reveals the essence of the developed methodology and compares it with the technology currently used.

**Keywords:** the theory of graphs, networks of Petri, technical requirements, flexible manufacturing modules.

Цель работы заключается в сокращении производственных издержек, поднятия эффективности и экономичности многономенклатурного производства, за счет разработки нового метода формирования технических требований к оборудованию механообработки.

Поставленные задачи:

1. Анализ применяемых методов формирования технических требований для механообработки.
2. Разработка метода формирования технических требований к гибким производственным модулям механообработки, на основе выбранного математического аппарата.
3. Сравнение эффективности разработанного метода с действующими методами.

При проведении технологической подготовки производства используются три основных типа технологических процессов:

Единичный технологический процесс – процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс – процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. На базе этих технологических процессов разрабатывают стандарты предприятий для типовых технологических процессов.

Групповой технологический процесс – процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Групповые технологические процессы разрабатывают для всех типов производств только на уровне предприятия.

Использование первого вида технологических процессов, упомянутого ранее, позволяет учесть все возможные факторы производства, рассмотреть все особенности детали и максимально эффективно осуществить ее производство в конкретных условиях. Но разработка такого технологического процесса является трудоемким и требует много времени и ресурсов. Единичный вид технологического процесса является эффективным в условиях массового производства, затраты на детальную проработку технологического процесса по сравнению с трудоемкостью выпуска большого количества одинаковых изделий оправдывает себя. Однако разработка технологических процессов подобным образом со временем приводит к накоплению большого количества документации. Типовые и групповые технологические процессы являются унифицированными ТП, относящимися к группе изделий с общими конструктивными и (или) технологическими признаками. Эти технологические процессы широко применяют в мелкосерийном, серийном и реже в крупносерийных производствах. Проведение типизации позволяет свести большое количество технологических процессов к минимуму и ввести единообразие в обработку схожих деталей, основываясь на самом прогрессивном технологическом процессе, тем самым сократить время технологической подготовки производства.

Модульный технологический процесс[1] объединяет в себе преимущества всех типов технологий, так как учитывает специфику изготавливаемой детали как единичный процесс, сохраняет типизацию решений на уровне МТИ как типовой процесс и решает задачу объединения деталей в партии по общности МП как групповой процесс, а также приобретает гибкость, позволяя в определенных границах изменять последовательность МТИ и операций. Данная методика построения позволяет не только снизить количество номенклатуры, но и сократить расходы, связанные с технологической подготовкой производства, однако, несмотря на высокую эффективность, модульные технические процессы требуют достаточно много ресурсов, времени и труда. Их модернизация и применение мер автоматизации позволит значительно повысить эффективность.

Указанные ранее типы технологических процессов имеют свои достоинства и недо-

статки, используются повсеместно во всех отраслях промышленности. С развитием технологий возрастают требования к разнообразию выпускаемой продукции, ужесточаются требования качества и проводятся мероприятия по снижению стоимости производства единицы изделия. С другой стороны, производимые изделия так же могут не терять своей актуальности или, в отдельных случаях, изменения претерпевает только отдельные части технологии их производства. Таким образом, скапливается большое количество единиц технологических процессов, которые могут быть использованы в производстве или адаптированы для других нужд. Требования рынка диктуют условия для производства, по которым предприятие должно иметь гибкую основу, способную в кратчайшие сроки перенастроить выпуск изделий в плане наименований изделий, технологии их производства и адаптации производственных мощностей. Таким образом, возникает явление многономенклатурного производства, присущее большинству современных предприятий. Большое количество наименований изделий является негативным фактором при производстве, в частности, на этапе подготовки этого самого производства. Формирование технологических процессов является трудоемким и затратным процессом, в особенности при его оптимизации. Одной из основных проблем является поверхностность расчетов при формировании технологических процессов, не учитываются такт и ритм выпуска изделий, не учитываются четкие сроки выпуска партий изделий, подбор оборудования посредственный, исходя из имеющихся рабочих единиц. Эти проблемы присущи, в отдельных случаях, как единичным, мелко и крупно серийным, так и массовым производствам и вызывают дополнительные издержки производства, потери средств и времени.

Внедрение передовых технологий в промышленные процессы, несомненно, положительно отражается на производстве в целом, но имеют и некоторые негативные последствия. К первым можно отнести повышение эффективности и производительности, снижение стоимости и трудоемкости работы, ко вторым же относятся проблемы адаптации к новой технологии, остро встает вопрос надежности, в особенности оборудования. Большое распространение получили гибкие производственные модули, которые представляют собой гибкую производственную систему в виде единицы технологического оборудования, оснащаемые системой автоматизации, устройством программного управления, обладающие возможностью быстрой переналадки и автономности при выполнении определенных задач. Ярким представителем таких модулей можно назвать производственные комплексы с числовым программным управлением (ЧПУ). Они способны производить обработку большого количества деталей разной сложности, конфигурации и конструкции, производить их полную обработку. Наличие жёсткой внутренней системы оборудования и вычислительных систем управления позволяют настраивать сам процесс изготовления изделий и вспомогательные операции. Это дает возможность максимально оптимизировать производство изделий. Но, как было сказано ранее об условиях многономенклатурного производства, данное качество производственных комплексов не может использоваться в полной мере, что снижает их общую эффективность. Однако применение мер автоматизации на стадии подготовки к производству может снизить издержки производства и вывести работу оборудования на максимально возможный уровень производительности.

Автоматизация процесса формирования технологических требований к гибким производственным модулям должна отвечать некоторым требованиям: надежность системы, эффективность и необходимость в малых затратах ресурсов. Подобные меры автоматизации должны проходить следующим образом:

1. Система ввода информации.
2. Система обработки информации и принятия решений.

### 3. Система вывода информации.

Данные пункты описывают, какие процессы и каким образом должны быть автоматизированы при подготовке производства.

Первый пункт. На данном этапе считается целесообразным использование уже готового программного продукта. Использование физических измерительных приспособлений и оборудования неэффективно по сравнению с вводом данных с помощью рабочих чертежей изделий. Программное обеспечение эффективно, поскольку напрямую поставляет данные в систему, имеет большую пропускную способность и производительность. Использование физических измерительных приборов с элементами компьютеризации и автоматизации процесса могут применяться, но с условием применения подсистемы, проверяющей полученные данные. Относительно программ инженерного характера для обеспечения корректной работы системы ввода данных требуется выполнение нескольких условий: программа должна иметь возможность работы с чертежами изделий, уметь их обрабатывать, программа должна иметь высокую производительность и простоту в обращении, программа должна быть адаптивна к внешним модулям, уметь работать со внешними программными обеспечениями совместно. Большое распространение получили несколько программ, удовлетворяющих данным условиям: Компас 3D, AutoCAD, Solidworks, последняя имеет опыт применения дополнительных модулей для написания программ управления производственных комплексов с ЧПУ при указании дополнительных параметров на электронном чертеже изделия.

Второй этап. При получении данных от системы ввода инициатива передается программе обработки. Существует множество оболочек программ и сред для программирования, выбор конкретной основы нецелесообразно на данный момент, вопрос о применении конкретной программной среды будет решаться при формировании самой программы, в зависимости от специфик конечного продукта программирования.

Относительно применяемой технологии. Основной принцип работы программы заключается в формировании имитационной модели технологической среды механообработки. В рамках данной модели исследуются параметры операций обработки, вспомогательных операций, факторы транспортировки и установок, снятий заготовок, изделий. В рамках модели должно учитываться как можно большее количество факторов, влияющих на производительность исследуемой системы. В подобных случаях большое распространение получили математические аппараты на основе маркированных графов – сети Петри – математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем [2]. Данный аппарат имеет ряд отличительных особенностей:

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

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

3. Сохраняемость. Сеть Петри  $A = \langle P, T, R, Q \rangle$ ; называется строго сохраняющей, если сумма фишек по всем позициям остается строго постоянной в процессе выполнения сети.

4. Живость и достижимость.

Данные особенности аппарата позволяют судить о его надежности и эффективности, что удовлетворяет требованиям для системы, указанным ранее. Формально можно указать что:

Сеть Петри  $A = \langle P, T, R, Q \rangle$ ;

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  – множество позиций,  $n > 0$ ;

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$  – множество переходов,  $m > 0$ ;

$R$  – входная функция;

$Q$  – выходная функция.

В графическом представлении сеть Петри является двудольным графом. Множество вершин, которого это объединение множеств  $P \cup T$ , а смежность вершин задается  $Q$  и  $R$ . Маркировка  $m$  в сети Петри – это функция, указывающая множество неотрицательных целых чисел  $N$ , то есть присваивает позиции определенное количество меток. Таким образом, маркировку  $m$  можно представить, как  $n$ -мерный вектор, то есть  $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ , где  $n = |P|$  – число позиций,  $m_i \in N$  – число меток на позиции.

Далее следует определить методику, по которой будет обрабатываться информация, полученная программой ввода. На основе полученных данных о изделии формируются наборы признаков, в купе образующие карту изделия. В данной карте отражаются геометрия детали, ограничения по качеству поверхностей, допуски формы и расположения поверхностей. Используя выявленные особенности изделия, проводится кластерный анализ конструкторско-технологических параметров[2].

Кластерный анализ — многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы. Относительно производства деталей. Детали  $X_1, X_2, \dots$  будут называться равными, если их соответствующие параметры совпадают. Таким образом, основная задача заключается в распределении множества изделий на попарно непересекающиеся группы, число  $S$  которых конечно. Между двумя любыми изображениями  $X_1, X_2$  можно найти расстояние (метрика — функция, определяющая расстояния в метрическом пространстве)  $d(X_1, X_2)$ , которые должны отвечать условиям:

- не отрицательность расстояния  $d(x, y) \geq 0, d(x, y) = 0$  при  $x = y$ ;
- симметричность расстояний  $d(x, y) = d(y, x)$ ;
- неравенство треугольника  $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ ;

Таким образом, если  $d(X_1, X_2) = 0$ , то деталь  $X_1$  и  $X_2$  относятся к одной группе.

Сформированные отдельные группы схожи по определённым параметрам, в дальнейшем их определяют, как технологический модуль – набор операций, близких по своим параметрам. Каждый из полученных технологических модулей проходит проверку на соответствие затрачиваемого времени на его реализацию, отведенного на него. При невыполнении сроков, отведенных на работу, модуль дробится на более простые. Полученные таким образом технологические модули проходят повторную проверку до момента, когда все полученные модули полностью уложатся в отведенное им время. Модули, прошедшие проверку, образуют комбинации в зависимости от поставленных условий, к примеру, возможность исполнения на одной единице оборудования.

Такие комбинации модулей и будут основным материалом для работы имитационной модели, представленной в начале пункта два. Входными данными для моделирования системы являются: время загрузки и разгрузки транспортировочных средств, время их работы, время обработок поверхностей, смены инструментов и другие.

Результат моделирования должен дать информацию об общей производительности системы, время, затраченное на обработку одной детали или  $N$  количества деталей. Таким образом, после проведения симуляции вариантов производственных систем можно сделать вывод о их эффективности, производительности и величине затрат, необходимых для ее работы. На основе проведенных симуляций и расчётов производится формирование технических параметров, нужных для работы производственного оборудования.

Пункт три. Вывод результатов деятельности системы может быть использован в нескольких видах:

1. Выведен на носителях по готовности,
2. Отправлен для дальнейшего проектирования и внедрения,
3. Использован напрямую оборудованием.

Последний вариант возможен при наличии вспомогательных программ контроля результата работы системы.

Как теоретический пример можно рассмотреть изделие Т - вал, рисунок 1. Обработке подлежит несколько поверхностей.



Рис. 1. Вал

В систему ввода поступил чертеж изделия, имеющий все необходимые параметры готовой детали. Производится оценка обрабатываемых поверхностей и требований к ним. По завершению кластерного анализа формируются несколько технологических модулей: А, В, С. Модуль А заключается в обработке цилиндрических поверхностей детали, модуль В обработка шпоночного паза, модуль С обработка шестигранной оконечности. Обрабатываемые поверхности в модулях схожи по некоторым признакам что позволило выделить их в разные группы. Следующий шаг, формирование комбинаций модулей. В наличии несколько единиц оборудования (обрабатывающие комплексы с ЧПУ), каждая из них обладает своими параметрами: время подготовки, установки и снятия заготовок и изделий, сложность транспортировки между соседними единицами. В первом случае, три комплекса могут обеспечить обработку только по одному технологическому модулю с определенной скоростью обработки и транспортировки между ними (А-В-С, тире означает раздельное исполнение модулей, слитное написание означает исполнение на одном комплексе). Во втором случае, используется только один производственный комплекс, который обеспечивает работу по всем трем модулям (АВС). Полученные комбинации поступают на моделирование. В его процессе оцениваются: затраты времени на обработку, подготовку, транспортировку, потери времени (издержки) и т.д. По окончании моделирования даются четкие показатели эффективности каждой из комбинаций. Таким образом, выбирается самый оптимальный вариант. В данном примере, эффективнее второй вариант производства, на транспортировку изделия затрачивается больше времени чем смена инструмента внутри производственного комплекса. При некоторых условиях результат моделирования может дать противоположный результат, более выгодным будет первый вариант. Графическое исполнение моделирования комбинаций модулей изображено на рисунке 2.

Подытожив можно сказать, что разработанная методика формирования технологических требований должна работать на должном уровне, как мера автоматизации, сокращает трудоемкости проводимых работ, минимизируются издержки производства, связанные со временем и организацией подготовительных работ. В дальнейшем развитие такой технологии может свети большинство негативных факторов, связанных с производством на автоматизированных комплексах, применяющихся повсеместно на машиностроительных производствах.

## Вывод

В процессе работы была разработана методика формирования технических требований к гибким производственным модулям на основе сетей Петри, превосходящая по эффективности и экономичности обычно применяемые методики, что было подтверждено теоретически. Также развитие темы работы признано перспективным.

## 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] 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.
- [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] Многомерный статистический анализ в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS: Учеб. пособие / Под ред. И.В. Орловой. - М.: Вузовский учебник, 2011. - 310 с.
- [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.