

УДК 519.876.2

КОМПЛЕКС ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Н.И. Аристова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: avtprom@ipu.ru

В.М. Чадеев

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: chavama@ipu.ru

Ключевые слова: цифровая модель, гибкое производство, технологическая подготовка производства, гибкие производственные системы, себестоимость, время изготовления изделия, автомат, технологическая операция, комплекс программ.

Аннотация: Показана актуальность создания цифровых гибких производственных систем, отмечены их преимущества. Для создания гибких производственных систем разработан комплекс цифрового моделирования процесса технологической подготовки гибких производств, включающий методологию цифрового моделирования и комплекс программ для исследования процесса технологической подготовки гибких производств. Комплекс предназначен для применения, начиная с первых стадий технологической подготовки производства. Он может рассматриваться как система поддержки принятия решения для персонала дискретных производств.

1. Введение

В конце XX века в результате развития механизации и автоматизации широкое распространение в промышленности получили гибкие производства [1-4].

В соответствии с ГОСТ 26228-90, гибкая производственная система (ГПС) – управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования.

Применение ГПС позволяет повышать эффективность производства и за счет этого остается актуальным и значимым направлением исследований во всем мире и в настоящее время. Также к преимуществам ГПС относятся: сокращение сроков освоения новой продукции, в том числе времени подготовки производства, высокая скорость переналадки на новую продукцию; сокращение наименований и количества необходимого инструмента, уменьшение времени установки заготовок на станке и т.д.; увеличение производительности труда.

Однако создание ГПС связано с необходимостью значительных первоначальных капитальных вложений для приобретения оборудования, проектирования и внедрения системы управления и выполнения пуско-наладочных работ. Также необходимо решить задачи подготовки обслуживающего персонала. Кроме того, на мировом рынке присутствует ограниченное число поставщиков подобных систем, что необходимо учитывать в современных условиях импортозамещения.

В связи с этим актуальным является развитие проектов гибких производств без внедрения классических ГПС, но с применением возможностей цифровых технологий. Цифровые гибкие производства способны минимизировать большую часть недостатков ГПС при сохранении их преимуществ.

Производство может относиться к разряду цифровых, только если цифровые технологии применяются на всех производственных участках и на всех этапах жизненного цикла изделия. Кусочная «цифровизация», как в свое время «кусочная» автоматизация, смысла не имеет. Цифровые технологии необходимо применять уже на самых первых этапах технологической подготовки производства (ТПП), так как эта стадия весьма сложная и емкая по времени и ресурсам. От качества выполнения ТПП зависит скорость перехода к качественному выпуску новой продукции. Для выпуска качественной продукции на дискретном производстве необходимо качественно с определенной вероятностью выполнять каждую технологическую операцию (ТО). В связи с этим предлагается уже на этапе отработки технологичности конструкции изделия с помощью цифрового (on-line) моделирования определить возможности конкретного производства по выпуску предложенного заказчиком изделия. Для этого требуется определить себестоимость и время изготовления изделия с помощью имеющихся на производстве автоматов (роботов, станков с ЧПУ и т.д.). Себестоимость будем выражать через время.

Для решения поставленной задачи специалистами ИПУ РАН был разработан комплекс цифрового моделирования процесса технологической подготовки гибких производств, включающий методологию цифрового моделирования и комплекс программ для исследования процесса технологической подготовки гибких производств.

2. Методология цифрового моделирования процесса технологической подготовки гибких производств

Методология моделирования процесса технологической подготовки гибкого производства представляет собой совокупность цифровых моделей, методов и алгоритмов, позволяющих провести оценки возможности и целесообразности изготовления изделий на производстве, автоматизированном с помощью конкретных автоматов. Методология базируется на едином формализованном описании дискретных производств, независимом от вида изготавливаемых изделий, типов используемых автоматов и видов выполняемых ТО [5].

2.1. Формализованное описание дискретных производств

Формализованное описание дискретного производства включает [5]:

- формализованное описание ТО с помощью времени выполнения ТО (b) и вероятности качественного выполнения ТО (p);
- формализованное описание автоматов, включающее стоимость автомата (C), время жизни автомата (T) и коэффициент единицы рабочего времени автомата:

$$(1) \quad \lambda = C/T;$$

- формализованное описание процедуры изготовления изделий и техобслуживания автоматов используются два типовых цифровых параметра: число разных видов ТО, требуемых для изготовления изделия; число повторного выполнения каждого вида ТО;
- модель процесса автоматизации ТО:

$$(2) \quad A = \begin{pmatrix} \alpha_{10} & \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1j} & \cdots & \alpha_{1f} \\ \alpha_{20} & \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2j} & \cdots & \alpha_{2f} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{i0} & \alpha_{i1} & \alpha_{i2} & \cdots & \alpha_{ij} & \cdots & \alpha_{if} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{m0} & \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \cdots & \alpha_{mj} & \cdots & \alpha_{mf} \end{pmatrix},$$

где α_{ij} параметры процесса автоматизации, определяющие, какие виды ТО выполняет тот или иной автомат (или человек), и изменяющиеся в пределах $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$. Если все однотипные операции выполняет человек, то $\alpha_{ij} = 0$; если автомат, то $\alpha_{ij} = 1$. Матрица содержит число строк, соответствующее числу разных видов ТО (m) и число столбцов по числу исполнителей (f) этих ТО (человек или автомат j -го типа). В большинстве случаев модель процесса автоматизации ТО содержит только 0 и 1, то есть конкретную ТО выполняет один наиболее эффективно работающий автомат или человек [5].

Задача распределения работ между автоматами решается в соответствии с основными показателями:

- минимальное время и минимальное среднее время изготовления изделия;
- минимальная себестоимость и минимальная средняя себестоимость изготовления изделия.

Сделаны предположения: время выполнения ТО определенного вида человеком и автоматом будем считать постоянной (не случайной) величиной; порядок выполнения ТО не учитывается [5].

2.2. Обобщенная модель дискретных производств

Формализованное описание дискретного производства позволяет строить модели изготовления изделий при различных производственных условиях, включая ручное изготовление, изготовления изделия человеком и одним типом автоматов, изготовление изделия человеком и системой автоматов. Наконец, самая сложная производственная ситуация – изготовление системы изделий с помощью системы автоматов – описывается обобщенной моделью дискретных производств, включающей аддитивную модель оценки времени изготовления ТО ($C_k(A)$) и мультипликативную модель оценки вероятности качественно выполнения ТО ($P_k(A)$) при изготовлении k -го изделия из системы:

$$(3) \quad \Phi_k(A) = C_k(A)/P_k(A).$$

За счет представления модели процесса автоматизации ТО в вид матрицы стало возможным представить в матричном виде обобщенную модель дискретных производств (4). В (4) приняты обозначения: b_{ij} – время выполнения ТО i -го вида автоматом j -го вида; α_{ijk} – параметр процесса автоматизации ТО i -го вида автоматом j -го типа при изготовлении автомата k -го типа; h_{ik} – число одинаковых ТО i -го вида, необходимых для изготовления одного экземпляра автомата k -го типа; λ_j – коэффициент единицы рабочего времени автомата j -го типа; f – число разных типов автоматов в системе; m – число видов ТО, необходимых для изготовления всей системы автоматов; p_{ij} – вероятность качественного изготовления ТО i -го вида автоматом j -го типа.

$$(4) \quad \Phi_k(A) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline \text{ТО} & & R_0 & R_1 & \dots & R_f \\ \hline 1 & \Phi_k(A) = & \frac{\alpha_{10} b_{10} \lambda_0 n_1}{p_{10}^{\alpha_{10} n_1}} + & + \frac{\alpha_{11} b_{11} \lambda_1 n_1}{p_{11}^{\alpha_{11} n_1}} + & \dots & + \frac{\alpha_{1f} b_{1f} \lambda_f n_1}{p_{1f}^{\alpha_{1f} n_1}} + \\ \hline 2 & & + \frac{\alpha_{20} b_{20} \lambda_0 n_2}{p_{20}^{\alpha_{20} n_2}} + & + \frac{\alpha_{21} b_{21} \lambda_1 n_2}{p_{21}^{\alpha_{21} n_2}} + & \dots & + \frac{\alpha_{2f} b_{2f} \lambda_f n_2}{p_{2f}^{\alpha_{2f} n_2}} + \\ \hline \dots & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline m & & + \frac{\alpha_{m0} b_{m0} \lambda_0 n_m}{p_{m0}^{\alpha_{m0} n_m}} + & + \frac{\alpha_{m1} b_{m1} \lambda_1 n_m}{p_{m1}^{\alpha_{m1} n_m}} + & \dots & + \frac{\alpha_{mf} b_{mf} \lambda_f n_m}{p_{mf}^{\alpha_{mf} n_m}} + \\ \hline \end{array}$$

2.3. Методы и алгоритмы цифрового моделирования процесса технологической подготовки гибкого производства

На основе формализованного описания дискретного производства и обобщенной модели дискретного производства разработаны методы и алгоритмы, позволяющие исследовать процессы иерархического изготовления различных видов изделий с детализацией до отдельных ТО и даже элементов ТО. Рассматриваются процессы технического обслуживания автоматов. Отдельный интерес представляют методы и алгоритмы, позволяющие исследовать изготовление автоматов с помощью автоматов – самовоспроизведение автоматов (рис. 1). Для всех методов и алгоритмов указаны производственные параметры, по которым выполняется оптимизация производственного процесса [6, 7].



Рис. 1. Методы и алгоритмы, входящие в методологию цифрового моделирования процесса технологической подготовки гибкого производства.

3. Комплекс программ для исследования процесса технологической подготовки гибких производств

Основные положения методологии цифрового моделирования процесса технологической подготовки гибкого производства реализованы с помощью программного комплекса, предназначенного для исследования процесса технологической подготовки гибких производств. Программный комплекс включает модуль сбора и подготовки данных для анализа эффективности автоматизации ТО и модуль, представляющий собой информационно-аналитическую систему, реализующую методы и алгоритмы предложенной методологии. Программный комплекс гибко настраивается на заданный тип дискретного производства, на ассортимент выпускаемой продукции, парк автоматов и выполняемые ими ТО; реализовывает новые методы и алгоритмы для численного решения поставленных задач и гибко настраивается на различные производственные условия; предоставляет технологу систему поддержки принятия решений о возможности и целесообразности постановки изделия на производство. Программный комплекс написан в объектно-ориентированной среде Delphi. Для сбора и хранения информации применяется СУБД PostgreSQL.

4. Заключение

Представленный комплекс цифрового моделирования процессов технологической подготовки гибкого производства позволяет анализировать эффективность автоматизации ТО изготовления изделий и техобслуживания автоматов по различным критериям, учитывающим показатели качественного выполнения ТО автоматами. Комплекс позволяет выполнять моделирование в режиме on-line и тем самым встраиваться в структуру гибкого цифрового производства. На производствах с недостаточным уровнем цифровизации он будет полезен в качестве системы поддержки принятия решения. Комплекс принят к использованию на ряде дискретных производств. Адекватность предложенных моделей подтверждена на производствах [8].

Список литературы

1. Сердюк А.И. К проблеме подготовки инженеров в области гибких производственных систем // Машиностроение и инженерное образование. 2005. № 4. С. 52-61.
2. Сергеев А.И., Крылова С.Е. и др. Алгоритмы параметрического синтеза, применяемые при проектировании гибких производственных систем на основе компьютерного моделирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23. № 2. С. 106-114.
3. Радыгин А.Б., Сергеев А.И., Сердюк А.И. Компьютерное моделирование работы гибких производственных систем с учетом вероятностных возмущений // СТИН. 2018. № 8. С. 8-13.
4. Мирошин Д.Г., Рычагова О.А. Гибкие автоматизированные системы в диверсификации машиностроительного производства // Автоматизация в промышленности. 2020. № 7. С. 30-32.
5. Чадеев В.М., Аристова Н.И. Самовоспроизведение механических автоматов. М.: СИНТЕГ. 2012. 309 с.
6. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Повышение эффективности технологической подготовки производства за счет учета вероятностей качественного изготовления изделия на этапе отработки конструкции изделия на технологичность // Датчики и системы. 2020. № 12. С. 40-46.
7. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Метод быстрого оценивания технологичности конструкции изделия с учетом вероятностей качественной работы автоматизированных средств производства // Датчики и системы. 2021. № 1. С. 65-71.
8. Аристова Н.И., Чадеев В.М. Разработка гибкой робототехнической ячейки для производства деталей типа «тело вращения» с минимальной средней стоимостью // Датчики и системы. 2022. № 3. С. 55-60.