

УДК 65.011.56:658.524

Оптимизация параметров гибких производственных систем

Чуб О.П., кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Аннотация. Рассматриваются задачи оптимизации гибких производственных систем: определение максимума производительности, минимума затрат и оптимальной технологической гибкости. Постановка задач учитывает особенности мелкосерийного многономенклатурного производства.

Ключевые слова: гибкость производственной системы, переналадки, отказы, адаптация системы, вкладываемые средства, оптимизация.

В настоящее время машиностроение всех промышленно развитых стран характеризует проектирование и внедрение гибких производственных систем (ГПС), улучшение их технических характеристик, поиск путей повышения эффективности работы в конкретных производственных условиях, так как данные системы имеют существенный недостаток: большие непроизводительные потери времени в ГПС (достигают 50% фонда времени) [1-3]. Поэтому основным резервом улучшения их технико-экономических характеристик является не повышение режимов обработки или сборки, а сокращение простоев по организационным и техническим причинам, более рациональное использование и распределение ресурсов. Т.к. мероприятия, направленные на повышение степени гибкости и надежности системы требуют определенного вложения средств, то целесообразно иметь возможность на основе математического описания, учитывающего особенности условий работы ГПС, заранее оценить эффективность их использования. С другой стороны, выявить резервы системы, которые бы позволили без дополнительного вложения средств повысить производительность, а, следовательно, и эффективность. В этой связи актуальной задачей является оптимизация параметров гибких производственных систем с использованием математического аппарата, который бы учитывал особенности работы данных систем.

Условия, в которых функционируют ГПС, характеризуются частой сменяемостью объектов производства. При этом все материальные, технические, информационные, энергетические ресурсы системой используются по требованию в ответ на случайно появляющиеся запросы. Способность адаптироваться в данных условиях характеризует свойство гибкости [1-3]. Это свойство для производственных систем различной степени автоматизации и масштабов производства в современных экономических условиях становится аналогом способности выжить. Экономически более живучи и устойчивы в меняющихся рыночных условиях те, которые способны мобильно реагировать на изменение спроса с минимальными затратами при обеспечении высокого качества продукции.

Вопросам разработки методов проектирования и совершенствования автоматизированных производственных систем посвящены работы А.А. Азбеля, С.А. Майорова, Ю.М. Соломенцева, Л.Ю. Лищинского, П.И. Чинаева, Н.М. Султан-Заде, И.А. Клусова, Б.И.Черпакова, Л.А. Дашенко, Г.А. Шаумяна, О.М. Калина, А.А. Кутина, Волчкевича Л.И., Коппа В.Я., Обжерина Ю.Е., Хегинботама У.В., Л.С. Ямпольского, Дж. Хартли и др. Дальнейшее развитие теории автоматизированных производственных систем базируется на теории надежности, марковских и полумарковских процессов и отражено в работах В.С. Королюка, Н.А. Северцева, А.С. Гнеденко, И.А. Ушакова, В. Дж. Гордона, Л. Клейнрока и др. Разработанный в настоящее время математический аппарат теории массового обслуживания, марковских и полумарковских процессов достаточно эффективно описывает поведение автоматизированных производственных систем но, во-первых, в большинстве существующих моделей не учитывается процесс переналадок в системе, поэтому их нельзя считать достаточно адекватными для описания работы ГПС серийного и мелкосерийного производства. Во-вторых, большинство разработанных моделей используют экспоненциальный закон распределения параметров функционирования устройств, что значительно сужает возможности использования этих моделей. В-третьих, в ряде моделей используются итерационные процедуры, которые ограничивают возможности последующего анализа и совершенствования систем. Также существующие методы проектирования и оптимизации не учитывают в полной мере влияния условий работы ГПС, главной особенностью которых является наличие необходимости проведения частых переналадок

В результате математического моделирования [4, 5] функционирование ГПС можно представить как альтернирующий процесс восстановления с известными функциями распределения случайных величин времен обслуживания с учетом надежности и переналадки соответственно $F_{\Sigma}(t)$ и $F_{\Pi\Sigma}(t)$. Данный факт позволяет строить модели более сложных многокомпонентных иерархически организованных систем любого уровня обобщения в структуре комплексной переналаживаемой автоматизированной производственной системы предприятия. Предложенный в [4, 5] подход позволяет: во-первых, получить конечные аналитические выражения для функций распределения времени обслуживания с учетом надежности и переналадок системы; во-вторых, - получить числовые характеристики случайных величин времен работы и переналадок (математическое ожидание и дисперсию) ГПС, что значительно упрощает решение задач анализа и синтеза переналаживаемых систем и разработку программного обеспечения для автоматизации процесса их математического моделирования в случаях, когда не требуется получение функций распределения случайных величин; в-третьих, отказ от предположения об экспоненциальности исходных законов распределения случайных вели-

чин дает возможность использования произвольных законов распределения случайных величин на основе реальных экспериментально полученных зависимостей [6]. На базе построенных математических моделей, проводилась оптимизация параметров ГПС.

Известно, что критерием выбора оптимального решения при параметрическом синтезе ГПС с учетом ее надежности и переналадок служит минимум приведенных затрат [7]:

$$E_n K_0 + C + Y_r + Y_n + Y_{сз} \rightarrow \min, (1)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_0 – капитальные вложения; C – текущие затраты на повышение надежности и гибкости системы; Y_r , Y_n , $Y_{сз}$ – математическое ожидание денежного выражения годового ущерба от отказов и переналадок соответственно ГПС, потребителей и смежных звеньев.

Указанные в (1) ущербы Y_r , Y_n , $Y_{сз}$ при объединении составляющих (ГПС, потребители, смежные звенья) в единую систему, могут быть заменены обобщенным ущербом Y . При решении ряда задач оптимизации ГПС составляющие Y_n , $Y_{сз}$ и K_0 в (1) могут не учитываться, если они являются постоянными величинами.

Тогда задача сводится к определению минимума

$$C + Y \rightarrow \min. (2)$$

Следует отметить, что ущерб Y от отказов и переналадок тем меньше, чем выше коэффициент готовности системы и меньше время переналадок. Однако, как правило, на практике решаются и другие задачи, вытекающие из приведенного выше выражения: одна составляющая в (2) принимается за критерий оптимизации, а другая используется в качестве ограничения.

При построении моделей оптимизации использовалась следующая закономерность: при вложении средств с увеличением затрат скорость увеличения отдачи уменьшается, а начиная с некоторой величины, остается на прежнем уровне (в экономике – закон убывающей отдачи). Для случая вложения средств на сокращение длительности простоев из-за отказов и переналадок системы данная закономерность аппроксимировалась экспоненциальной функцией. Постановка задач оптимизации состоит в следующем.

Задача 1. При изготовлении m видов продукции имеются некоторые резервы повышения производительности за счет сокращения простоев системы из-за отказов и переналадок. Для сокращения указанных потерь необходимо дополнительное вложение средств, причем, общее количество средств, которое можно распределить по двум вышеназванным назначениям, ограничено. Необходимо определить оптимальное распределение ограниченных средств, обеспечивающее максимальную производительность системы:

$$P = \frac{1}{T_p + T_o(C_o) + T_n(C_n)},$$

где T_p – время работы системы без простоев; $T_o(C_o)$, $T_n(C_n)$ – времена простоев системы соответственно из-за отказов и переналадок системы, зависящие от количества вложенных средств C_o , C_n на мероприятия по их снижению.

Время $T_o(C_o)$ определяется как разность времени обслуживания с учетом простоев по отказам T_{po} и T_p .

$$T_o(C_o) = T_{po} - T_p.$$

То есть необходимо найти максимальное значение производительности ГПС

$$P = \frac{1}{T_{po}(C_o) + T_n(C_n)} \rightarrow \max,$$

если накладываются ограничения на сумму средств, которые можно направить на сокращение времени переналадки или восстановления ГПС

$$C = \sum_{i=1}^m C_{mi} + C_0.$$

Задача 2 – обратная к предыдущей. При изготовлении m видов продукции имеются некоторые резервы повышения производительности за счет сокращения простоев системы из-за отказов и переналадок. Возможно вложение средств на сокращение данных потерь. Причем, необходимо обеспечить заданный уровень производительности системы, и определить, какое минимальное суммарное количество средств возможно использовать:

$$C = \sum_{i=1}^m C_{mi} + C_0 \rightarrow \min.$$

Ограничением выступает заданное значение P производительности ГПС.

Задача 3. Определение максимума технологической гибкости [7, 8, 9] производственной системы при ограничении на сумму вкладываемых средств $C = \sum_{i=1}^m C_{mi} + C_0$:

$$G = \frac{T_p}{T_p + T_{ад}} \rightarrow \max$$

где T_p , $T_{ад}$ - времена работы и адаптации системы, $T_{ад} = T_o(C_o) + T_{п}(C_{п})$.

В ходе решения задачи условной оптимизации сводились к задачам безусловной оптимизации, для которых использовался градиентный метод, преимущество использования которого заключается в возможности определения составляющих вектора градиента (частных производных по переменным) в явной аналитической форме, за счет чего значительно увеличивается точность вычислений.

Было получено, что для системы [6] возможно повысить производительность до 8 – 10% при варьировании сумм ограниченных средств, а также снизить сумму вкладываемых средств до 50% при обеспечении заданного уровня производительности; максимальное значение технологической гибкости – повысить до 0,85, что характеризует способность данной системы достаточно хорошо реагировать на изменение условий производства

Литература:

1. Чуб О.П. Концепция бережливого производства для гибких производственных систем, понятие гибкости // Перспективные направления развития современной науки // Сборник научных работ 49й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, март 2019). — Москва: ЕНО, 2019. — Часть 2. — С.135-141.
2. Имаи М. Гембакайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества / Масааки Имаи; пер. с англ. — 4-е изд. — М.: Альпина Паблицерз, 2009. — 345 с.
3. Синго, С. Быстрая переналадка: Революционная технология оптимизации производства / Сигео Синго; пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 344 с.
4. Копп В.Я., Чуб О.П., Обжерин Ю.Е. Математическая модель оценки влияния переналадок и отказов на производительность ГПС мелкосерийного производства // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. / Севастоп. гос. техн. ун-т, 1999. — Вып.1. — С. 39–45.
5. Kopp W.Ja. Modelowanie funkcjonowania hierarchicznie zorganizowanych systemow przezbrajanej produkcji montazowej / W.Ja Kopp, O.P. Czub, Ju.E. Obzerin // Technologia i automatyzacja montazu, kwartalnik naukow-techniczny, №2, 2000, Warszawa, producent ORB "Tekoma", С.13–16.
6. Чуб О.П. Экспериментальные исследования переналаживаемых автоматизированных производственных систем механосборочного производства / О.П.Чуб, В.Я. Копп, А.О.Харченко // Ві сник ЧДТУ, Черкасы, 2005, №1. — С.72–76.
7. Транспортно-накопительные и загрузочные системы в сборочном производстве: Учебное пособие / Е.В. Пашков, В.Я. Копп, А.Г. Карлов. — К.: УМК ВО, 1992. — 536с.
8. Соломенцев Ю.М., Кутин А.А., Шептунов С.А. Оценка гибкости автоматизированной станочной системы // Вестник машиностроения. — 1984. — №1. С. 38–40.
9. Чуб О.П., Волошина Н.А. Формирование подхода к использованию критерия оптимальной гибкости при анализе и синтезе переналаживаемых автоматизированных производственных систем // Материалы междунар. научн. техн. конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения».- Севастополь: Севастоп. гос. техн. ун-т. — 2015. — С.86.