

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ВРЕМЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

В. Фетисов*

Кафедра вычислительных систем
 Ленинградский институт авиационного приборостроения

Поступило: 24 мая 1988 г.

Представлено: Проф. Др. О. Петрик

1. Введение

Современный этап комплексной автоматизации дискретного производства предусматривает последовательное повышение организационной и технологической гибкости, позволяющей в кратчайшие сроки перестраиваться на решение новых задач, в новых условиях новыми средствами.

Накопленный опыт разработки и внедрения ГПС, освоения компьютерных технологий промышленных исследований, проектирования и подготовки производства (CAD/CAM) составляет основу для критического анализа проблематики ГПС, разработки заданий на их проектирование, обеспечение гарантий значительного снижения основных затрат, связанных с реализацией гибких систем в промышленности и достижением высоких показателей функционирования.

Управление материальными потоками в ГПС связано с распределением производственных ресурсов и обеспечением заданных динамических свойств всех основных процессов, всех подсистем и ГПС в целом.

Система управления должна удерживать в допустимых пределах значения отклонений временных параметров основных производственных показателей от их расчетных траекторий и обеспечивать достижение желаемых значений оценок эффективности и надежности [1].

ГПС — многофункциональная динамическая система, имеющая многоуровневую иерархическую структуру, составленную из взаимоувязанных целенаправленных подсистем. Реализация каждой такой подсистемой собственных целей и интеграция динамических свойств всех подсистем в заданные свойства

* В настоящее время является докторантом Венгерской АН в ВМЕ.

целостной системы (к таким свойствам, прежде всего относятся гибкость и устойчивость) является актуальной и сложной задачей.

И, если гибкости, как наиболее фундаментальному понятию в формирующейся теории ГПС, посвящены многочисленные исследования и публикации (одних только определений гибкости насчитывается более 50), то понятию устойчивости (или функциональной надежности) уделяется недостаточное внимание.

2. Анализ функционирования гибких систем

Накопленный опыт использования гибких систем дискретного производства и современного уровня обеспечения технологии машиностроения приводит к принципиальному заключению, что полного отсутствия отказов в ГПС добиться невозможно [2]. Здесь под отказом понимается не только выход из строя оборудования или управляющих систем, но и изменение порядка следования и временных параметров технологических операций. При этом в гибкой системе должно происходить не прекращение, а замедление производственного процесса. Более того, считается, что ГПС спроектированная таким образом, что отказы отдельных ее элементов не распространяются на остальную ее часть, может быть названа надежной [2] или устойчивой к возмущениям.

В целом, статистика отказов отдельных составляющих ГПС выглядит следующим образом: вероятность отказа обрабатывающих систем составляет 0,07; транспортно-складского оборудования — 0,02; систем управления — 0,005. При этом более 20% отказов вызывает прерывание производственного процесса на 5...10 мин., около 30% — на 15...20 мин. Отдельные отказы могут устраняться в течении 90 мин. и более [2].

Попытки существенно уменьшить количество отказов в ГПС приводят к усложнению систем и, как следствие, к резкому их удорожанию. В тоже время, экономические требования, предъявляемые к ГПС, предполагают не столько постоянную безотказную работу, сколько гарантированное исполнение заказов в поставленные сроки [3].

С этих позиций определение гибкости системы, как способности ГПС обеспечивать возможность сохранения показателей эффективности функционирования при действии технологических и операционных возмущений [4], показывает, что происходит объединение двух основных свойств систем: гибкости и устойчивости функционирования, в единое целое.

Это вызвано несколькими причинами.

1. Предполагается, что основными источниками нестабильной работы ГПС являются: недостаточная надежность оборудования (включая и системы управления); использование новых, недостаточно изученных принципов организации гибкого производства (групповая технология, безлюдные смены, отказ

от поточно-конвейерного формирования структур производства и др.), или наличие в контурах управления системой операторов оборудования, технологов-диспетчеров, организаторов производства.

2. Считается, что гибкость как свойство системы, как раз и направлена на устранение возмущающих факторов и отказов.

Здесь следует признать, что если будет спроектирована система с абсолютно безотказным оборудованием, полностью устранены люди из контуров управления и при этом гибкость системы будет достигаться за счет многофункционального оборудования, превышающего реальные потребности с большим избытком, то такая система будет безусловно устойчивой. То есть влияние возмущающих факторов не выйдет за пределы производственных участков.

Но этот вывод является экономически несостоятельным, так как требуется не гибкая система любой ценой, а система с минимально-необходимым уровнем гибкости, удовлетворяющим запросы технологии и экономики одновременно [5].

Это предполагает создание в стратегии проектирования и последующего планирования и управления функционированием ГПС такого механизма, который бы при минимальных затратах обеспечивал устойчивость функционирования.

В тоже время в наиболее известных комплексных проектах интегрированных производственных систем (СІМ), например [6, 7], основным способом компенсации последствий возмущений предусматривается коррекция расписаний функционирования отдельных составляющих и ГПС в целом. Но, если системе не выделяются дополнительные ресурсы, то процесс коррекции должен затрагивать несколько плановых периодов с изменением взаимосвязей с внешними системами. Ресурсное резервирование в ГПС ограничено, так как основным критерием при планировании является максимизация загрузки оборудования.

Процесс управления ГПС неразрывно связан с процессом планирования, так как план (расписание) — это календарно-упорядоченная взаимоувязанная совокупность конкретных единиц ресурсов системы, соответствующая технологическими предписаниям. Это — модель будущего поведения системы.

Устойчивость функционирования гибкой системы обусловлена наличием в ГПС резервов, позволяющих компенсировать последствия отдельных отказов и возмущений. Введение резервов в систему и их перераспределение — это задачи, которые должны решаться в процессе планирования.

3. Временное резервирование гибких систем

Для повышения надежности технических систем (в том числе и ГПС) широко применяется пять видов избыточности (резервирования): нагрузочная, структурная, функциональная, информационная и временная. Если первые четыре вида избыточности уже давно находятся в центре внимания, то теоретические исследования временной избыточности начались сравнительно недавно (70-е годы). На наш взгляд именно временная избыточность позволяет повысить устойчивость функционирования ГПС, при чем при отсутствии новых капитальных вложений в производство, а лишь за счет некоторого снижения производительности системы.

О временной избыточности говорят в тех случаях, когда системе в процессе функционирования предоставляется возможность израсходовать некоторое время для восстановления ее технических характеристик [8]. Здесь необходимо учесть тот факт, что при современном уровне реализации производственных систем наиболее возможным является соблюдение только временного регламента технологического процесса [9]. Это предопределило особое внимание к процессам планирования, оценке чувствительности систем управления к изменениям технологического времени и разработке методики временного резервирования.

С позиций теории надежности, ГПС представляет собой контролируемую восстанавливаемую кумулятивную систему, результат работы которой оценивается общим количеством полезного времени работы. Произведем оценку характеристик надежности системы и свяжем эти характеристики с производительностью и способами организации правильности функционирования.

Сформулируем задачу следующим образом [8]. Требуется выполнить одним устройством производственное задание объема V за время t . Величины V и t измеряются в одних и тех же единицах. Под устройством понимается единая, неделимая и неразличимая в конкретной постановке часть системы, например, обрабатывающий центр, станок с ЧПУ.

Задание V разбивается на r равных этапов, выполняемых последовательно. После каждого этапа тем или иным способом проводится проверка результатов работы и, в случае необходимости, ремонт. Поток отказов принимается пуассоновским, интенсивность отказов — λ .

В случае обнаружения неправильного результата работа на данном этапе должна быть повторена. Для ГПС типа механообработки это соответствует широко распространенному способу технологической организации производства. Заготовки подаются из магазина, имеющего определенный страховой запас, а передача обработанной детали на следующую операцию производится только после ее проверки. Если обнаружен брак, то деталь на дальнейшую обработку не поступает, из магазина берется новая заготовка, инстру-

мент или отказавшая система восстанавливаются и выполнение операции повторяется.

Для выполнения производственного задания в заданное время необходимо, чтобы из n этапов, возможных за время t ($n > r$, то-есть избыточно), не более чем $n-r$ этапов были неуспешными. Искомая вероятность успешного функционирования ГПС с временной избыточностью будет определена как:

$$P_r(V, t) = \sum_{k=r}^n C_n^k \exp(-k \cdot \lambda \cdot V/r) \cdot [1 - \exp(-\lambda \cdot V/r)]^{n-k},$$

а математическое ожидание времени выполнения всего задания:

$$M[T] = (V + r \cdot d) \cdot \exp(\lambda \cdot V/r),$$

где d — интервал между произведением отдельных этапов.

Более адекватные реальному производству результаты дает моделирование системы цепями Маркова, но в этом случае требуется хорошо структурированная модель и знание вероятностей переходов системы из одного состояния в другое. Это возможно в случае длительной эксплуатации производственной системы с неизменной структурой, постоянной фиксации моментов возникновения отказов и классификацией причин их появления.

Рассмотрим один из возможных подходов к данному типу моделирования предполагая, что подобная статистика имеется в нашем распоряжении.

При выполнении i -го этапа ($i=1, \bar{n}$; $n=m+r$) на систему могут действовать возмущения, которые приводят к отказу устройства, с помощью которого выполняется данный этап. Будем понимать под состоянием системы наличие ($g_i=1$) или отсутствие ($g_i=0$) таких возмущений. Предположим, что последовательность состояний системы образует простую цепь Маркова. Такая модель отказов описывается следующими параметрами:

$P(g=1)$, $P(g=0)$ — вероятности наличия и отсутствия отказа в начальный момент времени;

$P(g=0/g=0)$, $P(g=1/g=0)$, $P(g=0/g=1)$, $P(g=1/g=1)$ — вероятности перехода системы из одного состояния в другое.

Выполнение и срыв i -го этапа будем обозначать как $y_i=1$ и $y_i=0$, соответственно.

Отказом дискретной системы с избыточностью является такое событие, когда из n запланированных этапов число невыполненных этапов n' будет больше, чем m . Тогда вероятность отказа системы определяется как средняя (по всем последовательностям y^n) вероятность выполнения условия

$$n' = n - \sum_{i=1}^n y_i \cong m + 1,$$

а именно,

$$P_e = P(y^n: n - \sum_{i=1}^n y_i \cong m + 1) = P(y^n: \sum_{i=1}^n y_i \cong r - 1).$$

Можно показать [10], что вероятность P_e ограничена сверху следующей величиной

$$P_e \cong C \cdot e^{-m|\ln \lambda_p|},$$

где

$$C = e^{(r-1)(\ln \lambda_p + 1)} \cdot \bar{U}_p \cdot (Z \cdot A^{n-1} \cdot Z^{-1}) \cdot \bar{1}^T,$$

$$\bar{U}_p = \{P(g=0) \cdot \sum_y P(y/g=0) \cdot e^{-y}, P(g=1) \cdot \sum_y P(y/g=1) \cdot e^{-y}\},$$

$$M_p = \begin{vmatrix} P(g=0/g=0) \cdot \sum_y (y/g=0) \cdot e^{-y} & P(g=1/g=0) \cdot \sum_y P(y/g=1) e^{-y} \\ P(g=0/g=1) \cdot \sum_y P(y/g=0) e^{-y} & P(g=1/g=1) \cdot \sum_y P(y/g=1) e^{-y} \end{vmatrix}$$

λ_p — максимальное собственное число матрицы M_p ; Z — диагональная матрица, на главной диагонали которой стоят элементы собственного вектора, соответствующего числу λ_p ; $\bar{1}^T$ — вектор — столбец, все элементы которого равны единице; A — некоторая стохастическая матрица.

Рассмотрим теперь величину $P(y=1/g=1)$, которая представляет собой вероятность выполнения некоторого этапа задания при условии, что на этом этапе отказывает необходимое устройство. Очевидно, что при отсутствии в системе структурного резервирования, отказ устройства ведет к срыву соответствующего этапа, то есть в этом случае, $P(y=1/g=1)=0$. Введение структурной избыточности дает возможность изменять вероятность $P(y=1/g=1)$, тем самым меняя и значение вероятности P_e . Конкретное выражение для вероятности $P(y=1/g=1)$ зависит от схемы включения и от режима работы резервных устройств, а также от кратности резервирования.

Таким образом, приведенные выше формулы определяют аналитическую зависимость вероятности отказа дискретной технологической системы от величины временной и структурной избыточности для случая, когда последовательность отказов отдельных устройств в системе можно представить простой цепью Маркова. На этапе планирования работы такой системы указанная зависимость дает возможным образом выбрать соотношение временного и структурного резерва при заданной вероятности отказа системы.

4. Общая схема использования временной избыточности

В самом общем виде методика использования временной избыточности заключается в следующем.

1. На основе анализа статистики о функционировании ГПС выявляются технологические операции, наиболее подверженные влиянию возмущений. Обобщенно, возмущающие факторы вызывают увеличение длительности технологических и организационных операций (повторная обработка из-за брака, дополнительные контрольные операции, ремонт оборудования и т. д.).

2. Используя принятую модель потока отказов и возмущений и их воздействия на систему, рассчитывается временный резерв операций и вводится в календарный план (расписание) работы ГПС.

3. Отклонения от заданного технологического процесса, возникающие в ходе работы, устраняются системой оперативного управления за счет созданных на этапе планирования временных резервов. Тем самым устраняется необходимость корректировки планов последующих интервалов работы. Влияние возмущений локализуется в пределах системы и не оказывает влияние на ее окружение.

4. В зависимости от степени изученности системы и технологической ситуации могут быть использованы как экспоненциальные, так и более сложные модели потоков отказов и возмущений (например, марковские цепи).

Обобщенная схема организации планирования и управления при наличии возмущений и временных резервов представлена на рис. 1.

На основании информации о долгосрочном плановом задании критериях, ограничениях и выделяемых системных ресурсах проводится планирование работы ГПС на срок от нескольких недель до нескольких месяцев. В этот момент заранее рассчитанные временные резервы ΔR распределяются по минимальным периодам планирования (сменам, дням или неделям). Блок краткосрочного планирования составляет расписания с точностью до отдельных операций и передает их для исполнения. Блок контроля организует функционирование производственной системы через локальное управление технологическим оборудованием.

При воздействии возмущений возникают отклонения ΔS от расписания, которые выявляются системой учета и анализируются блоком контроля. Если величина отклонений не превышает допустимого уровня ΔS^* , то продолжается управление по расписанию. Значение ΔS^* определяется, исходя из инерционности систем локального управления и технологических допусков.

Например, ожидание загрузки станка, смены инструмента или транспортного робота, использование межоперационных накопителей деталей и пр. Если же $\Delta S > \Delta S^*$, то необходимо вмешательство решающего органа для оценки технологической ситуации. Блок контроля определяет степень отклонения от расписания. Если эти отклонения не превышают выделенных на дан-

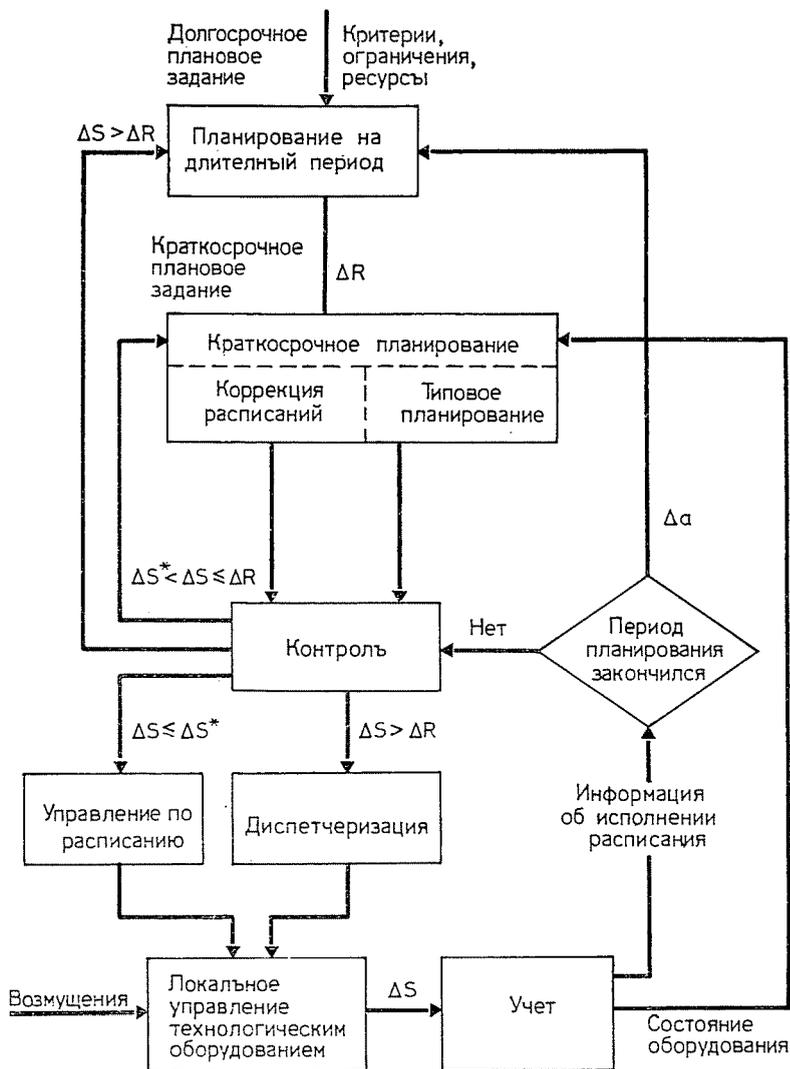


Рис. 1. Схема организации планирования и управления при наличии возмущений и временных резервов

ный интервал планирования временных резервов ($\Delta S \leq \Delta R$), то осуществляется коррекция расписания. Влияние возмущений локализуется и не выходит за пределы системы.

При возникновении значительных отклонений от составленных расписаний ($\Delta S > \Delta R$), управление передается диспетчеру, который организует функционирование производственной системы по сигналам от оборудования. В это время

система долгосрочного планирования вносит коррективы в расписания последующих интервалов планирования.

Устойчивость системы снизилась, так как коррекции подвергаются связи системы с внешним окружением («волна» коррекции вышла за пределы системы).

Реализация данной схемы организации планирования и управления может быть как интерактивной, так и полностью автоматической.

5. Заключение

Эффективность использования такого дорогостоящего промышленного оборудования, каким является ГПС, в значительной степени зависит от стабильности его работы. Временное резервирование может внести в ее повышение существенный вклад.

Данный вывод является исходной точкой для оценки уровня временной избыточности, вводимой в расписание работы системы при планировании. Необходимо определить экономические критерии, позволяющие сопоставить затраты на временное резервирование (а это потеря части производительности системы) и тот ущерб, который наносится нестабильной работой ГПС. Можно предположить, что временное резервирование эффективно в ГПС, имеющих многочисленные кооперационные связи, работающих с высокой загрузкой оборудования, имеющих ограниченные емкости межоперационных накопителей. То-есть в тех системах, которые в наибольшей степени реализуют преимущества гибкой комплексной автоматизации.

Основными достоинствами предлагаемого метода является:

Возможность его использования при любой организационно-технологической структуре производства (от «ручных» до полностью автоматизированных); уточнение используемых моделей отказов по мере накопления статистического материала; локализация последствий отказов в пределах системы или ее частей.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность за помощь в работе и дружескую поддержку профессорам Петрику Оливеру, Хорвату Матияшу, доценту Барта Дьердю.

Список литературы

1. Kocsis, J., Fetyiszov, V.: Rugalmas automatizált termelés: Konpcionális analisis // Gépgyártástechnológia. XXVI ev., II. sz., 1986, nov., 497—501 c.
2. Бонетто, Р.: Гибкие производственные цеха. — Париж.: Гермес, 1986.
3. Кочиш, Я., Фетисов, В. А.: Гибкие автоматизированные системы: надежность и проблемы управления. — Tanulmányok 162/1984, MTA SZTAKI, Будапешт, 1984.

4. Управление гибкими производственными системами: модели и алгоритмы/Под общ. ред. С. В. Емельнова. — Москва, Машиностроение, 1987.
5. Перовская, Е. И., Фетисов, В. А.: Гибкие дискретные технологические системы: основные определения, структура и функции // Проблемы машиностроения и автоматизации / МНТИ, Институт машиноведения АН СССР, Информэлектро. — Москва—Будапешт, 1986, вып. 12, с. 46—53.
6. YEOMANS, B. W., CHOUDRY, A., TEN HAGEN, P. I. W.: Design rules for a CIM system. (North-Holland, 1985.)
7. MILLER, R. K.: Strategic planning for computer integrated manufacturing. / SEAT Technical Publ.; U.S. (1986).
8. Kocsis, J., FETISOV, V.: Rugalmas automatizált gyártás: a megbízhatóság becslése időleges többlet esetén // Finommechanika—Mikrotechnika. N 9, Budapest, 1984, 277—280.
9. Тамм, Б. Г. и др.: Анализ и моделирование производственных систем. — Москва: Финансы и статистика, 1987.
10. Костюнина, Т. Н., Фетисов, В. А.: Верхняя граница вероятности отказа системы с временной избыточностью // Труды Ленинградского института авиационного приборостроения, Ленинград, 1984, с. 124—128.

Владимир Фетисов — Ленинградский институт авиационного приборостроения.