

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. И. Михайлов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Переориентация промышленности на выпуск широкого ассортимента продукции малыми сериями (партиями), в совокупности с постоянным снижением трудовых ресурсов европейских государств, привела к изменению использованных ранее форм организации производства и применяемого оборудования, т. е. к переходу от автоматизированных систем на основе аналогового управления к системам с числовым программным управлением (ЧПУ) [1]–[11]. Достижения в области микроэлектроники способствовали быстрому развитию этого направления в станкостроении и расширению номенклатуры станков с ЧПУ. Из исследований, выполненных в ФРГ, США, Швейцарии и других странах, известно, что эффективное время обработки на традиционных металлорежущих станках и станках с ЧПУ в случае участия человека (оператора) составляет только 6–10 % годового фонда рабочего времени. Известно также, что в структуре времени обработки деталей на основе традиционных технологий доля основного времени составляет только около 30 %, а оставшаяся часть приходится на вспомогательное и подготовительно-заключительное время [1], [4].

Как известно, эффективность работы автоматизированного производства зависит от организации технологического процесса, т. е. от формирования и реализации потоков деталей и инструментов, а также от степени согласованности их взаимодействия. В свою очередь, потоки инструментов формируются в зависимости от степени интеграции оборудования (СИО) и их можно разделить на инструментообеспечение станков с ЧПУ, гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС) [12]–[15].

Анализ применяемых СИО станков с ЧПУ позволяет выделить их составляющие, которые включают в себя: накопители инструментов, устройства транспортировки его из накопителя в рабочую зону и обратно, устройства ориентации, закрепления и контроля инструмента. Обобщив накопленный опыт по разработке и эксплуатации СИО станков с ЧПУ [2], [9], их можно представить в системном виде.

Для обеспечения эффективности работы таких систем используются различные виды структур СИО:

а) на основе накопителей инструментов на каждом многоцелевом станке, обеспечивая при этом автономность их работы и повышая надежность ГПС, однако растет емкость каждого накопителя и снижается эффективность использования режущего инструмента (рис. 1);

б) на основе накопителей средней емкости (30–60 инструментов) на каждом станке и общего инструментального склада небольшой емкости, обеспечивая повышение эффективности использования режущего инструмента, но снижая надежность работы ГПС (рис. 2);

в) на основе накопителей малой емкости (12–30 инструментов) на каждом станке и общего инструментального склада большой емкости, обеспечивая максимальную эффективность использования режущего инструмента и мобильность ГПС, позволяя использовать ее при производстве большой номенклатуры изделий (рис. 3).

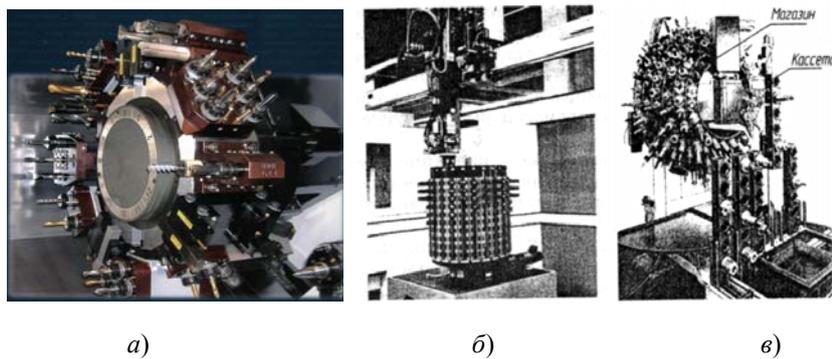


Рис. 1. Системы инструментообеспечения комплексных станков:
 а – дисковый накопитель; б – барабанный накопитель; в – кассетный накопитель

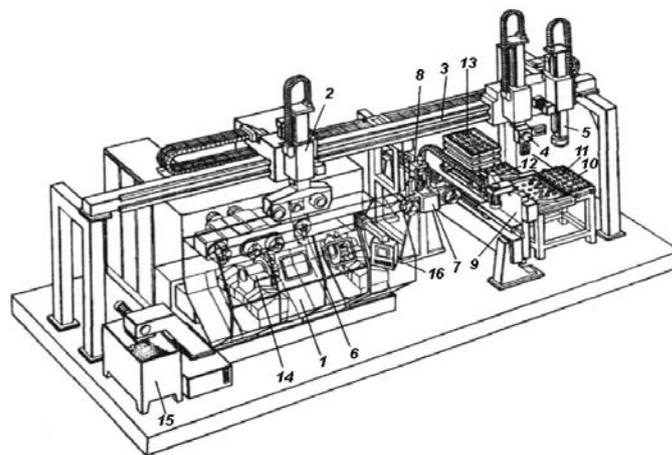


Рис. 2. Система инструментообеспечения гибкого производственного модуля:
 1 – станина; 2 – робот для замены приспособлений; 3 – траверса; 4 – робот для замены деталей-заготовок; 5 – робот для замены инструмента; 6 – устройство диагностики; 7 – кантователь; 8 – лазерное устройство клеймлений; 9 – система замены паллет; 10 – паллета с инструментом; 11, 12 – паллеты с деталями; 13 – паллеты с заготовками; 14 – револьверная головка; 15 – стружкосборник; 16 – пульт управления

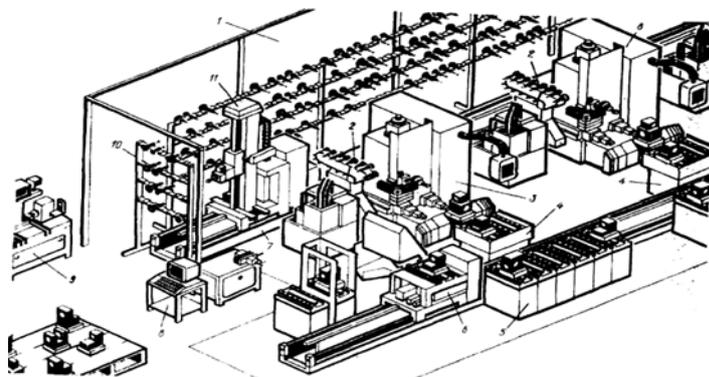


Рис. 3. Инструментообеспечение гибкой производственной системы:
 1 – инструментальный склад; 2 – инструментальные магазины; 3 – многоцелевые станки; 4 – приемные столы; 5 – накопитель паллет; 6 – трансманипулятор; 7 – направляющие; 8 – пульт управления; 9 – устройство диагностики; 10 – приемный стеллаж; 11 – робот

Анализ надежности СИО производился поэтапно [16]–[18].

На первом этапе составлялась структурная схема, при этом допускалось, что система не ремонтируема и не резервируема. Затем рассчитывался риск отказа системы и сравнивался с допускаемым значением. Анализ производился для наиболее часто встречающихся случаев отказа: в виде микроразрушений и износа режущей кромки. При этом было принято, что наработка на отказ в результате износа согласуется с усеченным нормальным законом распределения, а микровыкрашивание – с экспоненциальным [16]. По предварительным экспериментам определялась наработка на отказ каждого элемента T_i и интенсивность отказов λ_i , а также риск при отказе каждого элемента r_i .

Затем рассчитывались: наработка на отказ T_c и риск всей системы $R(t)$:

$$T_c = \frac{\prod_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}; \quad R(t) = \sum_{i=1}^n r_i \cdot \lambda_i \frac{(1 - e^{-\lambda_i t})}{\lambda_i}, \quad \lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (1)$$

Если расчетное значение наработки на отказ и риска меньше допускаемого, производилось резервирование. При этом рассматривалось общее резервирование элементов системы инструментообеспечения, которое может быть реализовано только замещением, либо поэлементное, которое для накопителя и режущего инструмента также реализовывалось замещением, а для режущей части и режущих кромок можно реализовать как с постоянным, так и с резервированием замещением. Тогда вероятность безотказной работы, плотность распределения времени безотказной работы и интенсивность отказов элементов системы с кратностью резервирования m при постоянном резервировании определялось по соотношениям:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=0}^m (1 - P_i(t)); \quad f_c(t) = \sum_{i=0}^m (1 - P_0(t)) \dots f_i(t) \dots (1 - P_m(t)), \quad \lambda_c(t) = \frac{\sum_{j=0}^m f_j(t) \prod_{i=j}^m Q_i(t)}{1 - \prod_{i=0}^m Q_i(t)}, \quad (2)$$

где $P_c(t)$, $P_i(t)$, $P_0(t)$ – соответственно, вероятность безотказности системы i -го и основного элементов; f_c и f_i – функции распределения системы и элемента; Q_i – функция вероятности отказа.

Для принятых законов распределения были рассчитаны численные значения показателей, которые представлены на рис. 4 при

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi(0,5 + \Phi_0(\frac{m_0}{\sigma_0}))}} e^{-\frac{t-m_0}{2\sigma_0^2}}; \quad P(t) = \frac{0,5 - \Phi_0(\frac{t-m_0}{\sigma_0})}{0,5 + \Phi_0(\frac{m_0}{\sigma_0})}, \quad (3)$$

где $\Phi_0(t)$ – функция Лапласа.

Как видно на рис. 4, а, с увеличением кратности резервирования увеличивается среднее время безотказной работы и уменьшается дисперсия.

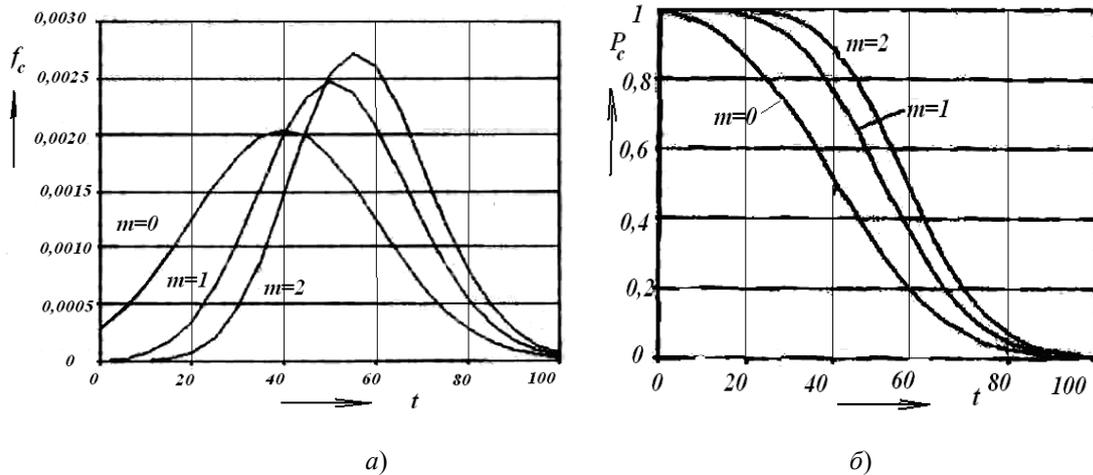


Рис. 4. Графики:
 а – плотности распределения времени до отказа; б – вероятности безотказности работы системы при различной кратности резервирования с усеченным нормальным законом распределения

Анализ рис. 4, б позволяет заключить, что на вероятность безотказности значительное влияние оказывает кратность резервирования, причем этот эффект тем существеннее, чем меньше m . Анализ рис. 5, а позволяет заключить, что большей кратности резервирования соответствует меньшая интенсивность отказов.

Как видно на рис. 5, б, при постоянной интенсивности отказов основной системы интенсивность отказа резервированной системы увеличивается с течением времени, стремясь к постоянной величине, равной интенсивности отказов нерезервированной системы.

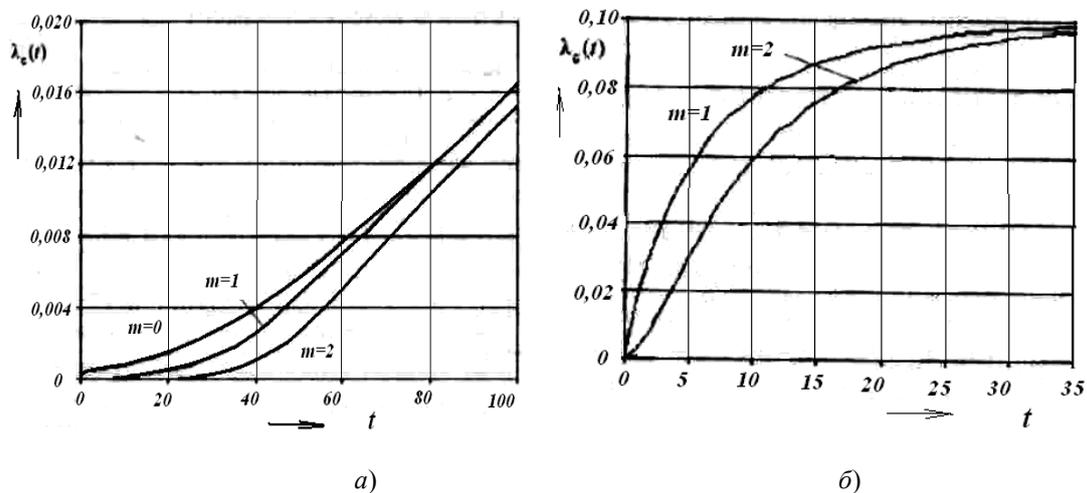


Рис. 5. Графики интенсивности отказа системы при различной кратности резервирования:
 а – с усеченным нормальным законом распределения;
 б – экспоненциальным

Постоянный резерв сложно технически реализовать в системах инструментального обеспечения, поэтому часто используются конструкции с резервированием замещением. В этом случае вероятность безотказной работы, плотность распределения времени до отказа и среднее время безотказной работы системы определяются выражениями:

$$P_c(t) = P_0(t) + \sum_{i=1}^m f_0 \cdot f_i \cdot \dots \cdot f_{i-1} P_i(t); \quad f_c(t) = f_0 f_i \cdot \dots \cdot f_m(t); \quad T_1 = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \sum_{i=0}^m T_{1i}, \quad (4)$$

где $f_0 f_i \cdot \dots \cdot f_m(t)$ – свертки функций.

Литература

1. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 239 с.
2. Лищинский, Л. Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.
3. Ящерицын, П. И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении : монография / П. И. Ящерицын, Л. М. Акулович, М. Л. Хейфиц. – Минск : Технопринт, 2006. – 248 с.
4. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А. С. Васильев [и др.]. – Тула : ТулГУ, 2003. – 271 с.
5. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И. Л. Фадюшин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
6. Каштальян, И. А. Повышение эффективности использования станков с ЧПУ в условиях нестационарного резания / И. А. Каштальян. – Минск : БНТУ, 2008. – 311 с.
7. Monitorowanie ostrza skrawajacego. Metody konwencjonalne i sieci neuronowe / Z. Adamczyk [and other]; unter a rel. J. Kosmola. – Warszawa : WNT, 1996. – 244 s.
8. Byrne, G. Tool Condition Monitoring (NCM) – The status of research and Industrial Application / G. Byrne // CIRP Annals. – 1995. – Vol. 44, № 2. – P. 541–568.
9. Хартли, Дж. ГПС в действии : пер. с англ. / Дж. Хартли. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
10. Kosmol, J. Automatyzacja obrabiarek i obrobki skrawaniem / J. Kosmol. – Wyd. 2. – Warszawa : WNT, 2000. – 444 s.
11. Козловский, В. А. Эффективность переналаживаемых роботизированных производств / В. А. Козловский. – Л. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
12. Митрофанов, В. Г. Живучесть гибких производственных систем / В. Г. Митрофанов, А. С. Старостин // Станки и инструмент. – 1990. – № 12. – С. 9–11.
13. Шведенко, В. Н. Теоретический расчет закона распределения стойкости резцов при точении / В. Н. Шведенко // Вестн. машиностроения. – 1989. – № 10. – С. 49–51.
14. Нодельман, М. О. Идентификация периодичности смены режущего инструмента / М. О. Нодельман // Вестн. машиностроения. – 1989. – № 7. – С. 46–48.
15. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.
16. Схиртладзе, А. Г. Надежность и диагностика технологических систем / А. Г. Схиртладзе, М. С. Уколов, А. В. Скворцов. – М. : Новое знание, 2008. – 518 с.
17. Шимарев, В. Ю. Надежность технических систем / В. Ю. Шимарев. – М. : Академия, 2010. – 304 с.
18. Дианов, В. Н. Диагностика и надежность автоматических систем / В. Н. Дианов. – М. : Изд-во МГИУ, 2005. – 378 с.