ISSN 2658 – 7505
Выпуск №3, 2019
Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России»

УДК 621.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ СТАНКА С ЧПУ

Будилин А.А.,*mazaefff@mail.ru*, ***Авилова Н.В.***,*av170556@rambler.ru*
Донской государственный технический университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону

В данной статье рассматривается математическое моделирование коэффициента готовности станка с ЧПУ на основе марковских цепей. Рассмотрены возможные состояния технологической системы механической обработки: износ (отказ) режущих инструментов и отказ станка с ЧПУ. Проведено оценивание коэффициента готовности станка с ЧПУ на основе реальных данных и предложены методы повышения коэффициента готовности станка с ЧПУ.

Ключевые слова: Коэффициент готовности, надежность, моделирование, механическая обработка.

MODELING THE COEFFICIENT READINESS OF CNC MACHINE.

Budilin A.A., Avilova A.V.
Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don

This article discusses the mathematical modeling of the availability of a CNC machine based on Markov chains. The possible conditions of the technological system of machining are considered: wear (failure) of cutting tools and the failure of a CNC machine. The CNC machine availability factor has been estimated based on real data and methods have been proposed for increasing the availability of a CNC machine.

Keywords: availability Factor, reliability, modeling, machining.

Целью работы является моделирование и оценивание коэффициента готовности станка с ЧПУ на основе реальных данных и предложение методов повышения коэффициента готовности.

Коэффициент готовности позволит оптимизировать скорости механической обработки и себестоимости изготовления деталей при обработке на станке с ЧПУ. С появлением сложных технических систем возникла необходимость рассматривать надежность как технический параметр, т.е. измерять ее числом. Многие ученые проводили исследования для оптимизации коэффициента готовности [1, 2]. Коэффициент готовности является комплексным критерием надежности, характеризующим соотношение между временем работы и временем простоя оборудования.

Станок с ЧПУ - сложная техническая система, состоящая из *n* режущих инструментов. Элементы расчета надежности соединены последовательно, т.к. отказ хотя бы одного из них приводит к отказу всей системы механической обработки. Схема расчета надежности станка с ЧПУ представлена на рисунке 1, а граф состояний системы обработки – на рисунке 2.

В результате обработки детали система механообработки может оказаться в следующих состояниях: X_0- все элементы системы работоспособны, отказы отсутствуют; X_1- первый режущий инструмент изношен, заменяется, станок с ЧПУ простаивает и т.д.; X_n - *n*-ный режущий инструмент изношен, заменяется, станок с ЧПУ; X_{n+1}- металлообрабатывающий станок отказал, восстанавливается.

Обозначим: λ_{u1}; λ_{u2};…; λ_{un} - интенсивности отказов первого, второго, n-ного режущих инструментов; $\lambda_{ст_1}$ - интенсивность отказов станка с ЧПУ; μ_{u1};μ_{u2};…; μ_{un}- интенсивности замены первого, второго, n-ного режущих

инструментов; $\mu_{ст_m}$- интенсивность восстановления станка с ЧПУ; $P_0;P_1;P_2;\ldots;P_n;P_{n+1}$- вероятности нахождения системы в состояниях $X_0;X_1;X_2;\ldots;X_n;X_{n+1}$.

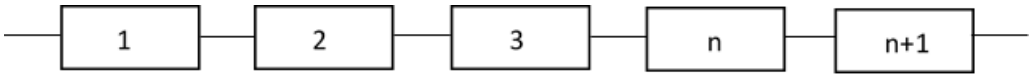

Рис. 1 - Схема расчета надежности станка с ЧПУ

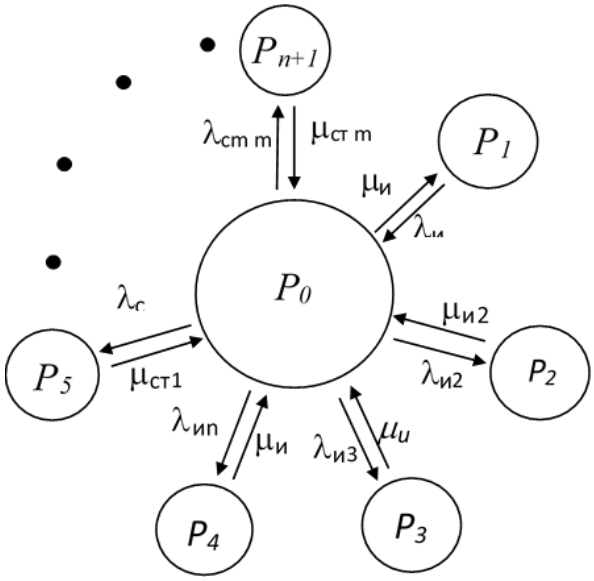

Рис .2 - Граф состояний станка с ЧПУ

Состояние X_0 - начальное, а остальные состояния - конечные, при попадании системы в одно из них процесс обработки заканчивается, станок с ЧПУ простаивает.

Система дифференциальных уравнений, описывающих состояния системы механической обработки, имеет вид

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_{u_1}P_0(t) - \lambda_{u_2}P_0(t) - \cdots - \lambda_{u_n}P_0(t) - \lambda_{u_{n+1}}P_0(t) - \cdots - \lambda_{u_{n+m}}P_0(t) + \\ \qquad \mu_{u_1}P_1(t) + \mu_{u_2}P_2(t) + \cdots + \mu_{u_n}P_n(t) + \mu_{ст_1}P_{n+1}(t)+; \\ \dfrac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{u_2}P_0(t) - \mu_{u_1}P_1(t); \\ \dfrac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{u_2}P_0(t) - \mu_{u_2}P_2(t); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dP_n(t)}{dt} = \lambda_{u_n}P_0(t) - \mu_{u_n}P_n(t); \\ \dfrac{dP_{n+1}(t)}{dt} = \lambda_{ст_1}P_0(t) - \mu_{ст_1}P_{n+1}(t); \\ 1 = P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + \ldots + P_n(t) + P_{n+1}(t) \end{cases}$$

Исследование характеристик надежности систем, формируемых под воздействием потоков отказов и восстановлений, позволяют сделать вывод о том, что сравнительно быстро наступает период установившегося режима, когда вероят-

ности состояний системы становятся постоянными. Это дает возможность принять при расчетах значения $\frac{dP_i(t)}{dt}$ равными нулю. Тогда система дифференциальных уравнений становится системой линейных уравнений:

$$\begin{cases} 0 = -\lambda_{u_1}P_0(t) - \lambda_{u_2}P_0(t) - \cdots - \lambda_{u_n}P_0(t) - \lambda_{u_{n+1}}P_0(t) - \cdots - \lambda_{u_{n+m}}P_0(t) + \\ \mu_{u_1}P_1(t) + \mu_{u_2}P_2(t) + \cdots + \mu_{u_n}P_n(t) + \mu_{\text{ст}_1}P_{n+1}(t); \\ 0 = \lambda_{u_2}P_0(t) - \mu_{u_1}P_1(t); \\ 0 = \lambda_{u_2}P_0(t) - \mu_{u_2}P_1(t); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 0 = \lambda_{u_n}P_0(t) - \mu_{u_n}P_n(t); \\ 0 = \lambda_{\text{ст}_1}P_0(t) - \mu_{\text{ст}_1}P_{n+1}(t); \\ 1 = P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + \ldots + P_n(t) + P_{n+1}(t) \end{cases}$$

В результате решения системы линейных уравнений имеем значения вероятностей нахождения станка с ЧПУ в состояниях $X_0; X_1; X_2; \ldots; X_n; X_{n+1};$

$$P_1 = \frac{\lambda_{u_1}P_0}{\mu_{u_1}};\ P_2\frac{\lambda_{u_2}P_0}{\mu_{u_2}}; \ldots;\ P_n\frac{\lambda_{u_n}P_0}{\mu_{u_n}}; P_{n+1}\frac{\lambda_{\text{ст}_1}P_0}{\mu_{\text{ст}_1}};$$

После подстановки значений вероятностей: P_i в последнее уравнение системы (условие нормировки) получим

$$P_0 + \frac{\lambda_{u_1}P_0}{\mu_{u_1}} + \frac{\lambda_{u_2}P_0}{\mu_{u_2}} + \ldots + \frac{\lambda_{u_n}P_0}{\mu_{u_n}} + \frac{\lambda_{u_{n+1}}P_0}{\mu_{u_{n+1}}} + \frac{\lambda_{n+m}P_0}{\mu_{n+m}} = 1$$

откуда

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{u_1}}{\mu_{u_1}} + \frac{\lambda_{u_2}}{\mu_{u_2}} + \ldots + \frac{\lambda_{u_n}}{\mu_{u_n}}\frac{\lambda_{u_{n+1}}}{\mu_{u_{n+1}}} + \ldots + \frac{\lambda_{u_{n+m}}}{\mu_{u_{n+m}}}};$$

Примем $\lambda_{u_i} = \frac{1}{a_i}$ и $\mu_{u_i} = \frac{1}{T_{p_i}}$;

где a_i – время восстановления элементов системы, T_{p_i}- время работы элементов системы до отказа.

Получили

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{a_{u_1}}{T_{pu_1}} + \frac{a_{u_2}}{T_{pu_2}} + \ldots + \frac{a_{u_n}}{T_{pu_n}} + \frac{a_{u_{n+1}}}{T_{pu_{n+1}}}};$$

или

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n}\frac{a_{u_i}}{T_{p_{ui}}} + \sum_{j=1}^{n}\frac{a_{\text{ст}_i}}{T_{p_{\text{ст}i}}}};$$

Коэффициент готовности станка с ЧПУ определяется как сумма вероятностей нахождения системы механической обработки деталей в работоспособных состояниях. Т.к. только X_0- работоспособное состояние, то коэффициент готовности автоматической линии механической обработки деталей равен

$$\text{К}_\text{г} = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n}\frac{a_{u_i}}{T_{p_{uj}}} + \sum_{j=1}^{n}\frac{a_{\text{ст}_i}}{T_{p_{\text{ст}j}}}};$$

На станке с ЧПУ завода АО"АОМЗ" обрабатываются детали сложной формы. В составе станка - 10 режущих инструментов: 7сверл, 1 развертка, 1 зенковка, 1 резец. Время работы режущего инструмента до износа получено расчетным путем и приводится в таблице 1. Время безотказной работы станка - 3000 час; время, необходимое на восстановление, обслуживание и профилактический ремонт станка - 2 час.

Коэффициент готовности равен

$$К_г = \frac{1}{1 + \left[\frac{5}{2158} + \frac{5}{2158} + \frac{5}{210} + \ldots + \frac{4}{3193}\right] + \frac{2}{3000} * 10} = 0{,}94$$

Коэффициент готовности станка с ЧПУ 0,94 свидетельствует о том, что надежность системы механической обработки высокая, т.к. режущие инструменты изготовлены из износостойких материалов. В этом случае высокая стойкость режущих инструментов существенно повышает производительность механической обработки и понижает себестоимость. В таблице 1 представлены исходные данные для расчета коэффициента готовности системы механической обработки.

Таблица 1

Исходные данные для расчета			
Режущий инструмент	a_{ni}, мин	T_{pi},мин	a_{ni}/T_{pi}
Резец	5	2158	0,0023
Резец	5	2158	0,0023
Резец	5	210	0,0238
Резец	5	485	0,0103
Резец	5	3600	0,0014
Резец	5	572	0,0087
Резец	5	1627	0,0031
Сверло	4	1389	0,002
Зенковка	4	3769	0,0011
Зенкер	4	3193	0,0013
Сумма			0,0563
Ремонт станка с ЧПУ	$a_{сті}$, час	$T_{pсті}$,час	$a_{ni}/T_{pсті}$
Агрегатный станок 10 позиций	2	3000	0,0067
Сумма		0,0067	

Моделирование коэффициента готовности станка с ЧПУ позволит рассчитать оптимальные скорости обработки, определяющие наибольшую производительность и наименьшую себестоимость механической обработки.

Список цитируемой литературы

1. Авилова Н.В.: Оптимизация режимов металлообработки по критериям производительности и себестоимости с учетом контрольных операций: Ростов н/Д, 2003. – С.22
2. Авилова Н.В., Гордиенко Б.И., М Краплин М.А., Сибирский ВВ. Определение оптимальной скорости резания по критериям производительности и себестоимости //СТИН. 2008. №7. С.25-28
3. Зубарев Ю.М.: Основы надежности машин и сложных систем.- СПб.: Лань, 2017.- С.180
4. Клягин В. И. Организация технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков с ЧПУ. М.: НИИМАШ, 1997. №10, С.7 — 11

© А.А. Будилин, Н.В. Авилова, 2019