

Анализ проблем надежности быстроходных станков с ЧПУ в условиях предприятия ТОО «Maker-Майкер»

Analysis of reliability problems of high-speed CNC machines in the conditions of the enterprise LLP "Maker-Maker"

Никонова Т.Ю.

канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета
e-mail: nitka82@list.ru

Nikonova T.Y.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department «Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization», Karaganda Technical University
e-mail: nitka82@list.ru

Юрченко В.В.

доктор техн. наук, заведующий кафедрой «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета

Yurchenko V.V.

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department «Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization», Karaganda Technical University

Жунуспеков Д.С.

магистр, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета

Zhunuspekov D.S.

Master's Degree Student, Senior Lecturer, Department «Technological equipment, mechanical engineering and standardization», Karaganda Technical University

Мукушева А.Е.

магистрант гр. МСМ 19-2 Карагандинского технического университета

Mukusheva A.E.

Master'Degree Student, gr. MSM 19-2, Karaganda Technical University

Аннотация

Развитие станкостроения в настоящее время характеризуется высокими темпами роста выпуска изделий, достигнутого в результате специализации производства и высокого уровня его автоматизации. За последние годы произошли серьезные качественные сдвиги, вызванные заменой устаревших конструкций, отличающимися малой массой и более высокой степенью износостойкости применяемых материалов. В периодической литературе опубликовано большое число статей, в которых изложены результаты исследований отдельных деталей быстроходных станков. В большинстве случаев имеющиеся результаты исследований по одному производителю нельзя использовать при анализе станков другого производителя. Кроме того, исследование работы одной детали рассматривается в отрыве от

взаимодействия ее с другими деталями. Следует также заметить, что различные вопросы надежности механизмов рассмотрены с различной глубиной и полнотой. Все это затрудняет возможность синтеза высоконадежных конструкций механизмов станков на стадии и опытной доводки и наладки на производстве.

Ключевые слова: надежность станков, теория надежности, оценка показателей надежности.

Abstract

The development of machine-tool building is currently characterized by high rates of growth in the output of products, achieved as a result of specialization of production and a high level of its automation. In recent years, there have been serious qualitative changes caused by the replacement of outdated structures that are characterized by low weight and a higher degree of wear resistance of the materials used. A large number of articles have been published in the periodical literature, in which the results of studies of individual parts of high-speed machine tools are presented. In most cases, available research results from one manufacturer cannot be used to analyze machines from another manufacturer. In addition, the study of the work of one part is considered in isolation from its interaction with other parts. It should also be noted that various issues of reliability of mechanisms are considered with varying depth and completeness. All this makes it difficult to synthesize highly reliable designs of machine tool mechanisms at the stage and experimental debugging and adjustment in production.

Keywords: reliability of machine tools; reliability theory; assessment of reliability indicators;

Особенности и тенденции развития современных конструкций быстроходных станков полностью определяются требованиями, предъявляемыми к тем видам деятельности, для которых эти станки разрабатывались, эти требования сводятся к обеспечению максимальной производительности при минимальной себестоимости выполняемых работ и низких затратах на ремонт.

Развитие станкостроения в настоящее время характеризуется высокими темпами роста выпуска изделий, достигнутого в результате специализации производства и высокого уровня его автоматизации. За последние годы произошли серьезные качественные сдвиги, вызванные заменой устаревших конструкций, отличающимися малой массой и более высокой степенью износостойкости применяемых материалов.

Усовершенствование станков, в частности их конструкции, повышения быстроходности, улучшения качества изготовления и применения более прочных и износостойких материалов остается основным направлением развития.

Однако рост уровня форсирования отрицательно сказывается на надежности станков. Для обеспечения надежности необходимо усовершенствование конструкций за счет повышения прочности и износостойкости основных деталей и сопряжений. Эта задача может быть успешно решена только на основе глубокого изучения действительных условий работы основных элементов станков, нагрузок, реальных характеристик применяемых материалов и пр.

В полностью освоенной и доведенной в производстве конструкции станка надежность должна определяться только естественным износом основных сопряжений. Поломки деталей в пределах моторесурса из-за износа основных сопряжений не должны иметь места.

Основной задачей по обеспечению надёжности техники в процессе изготовления следует считать выпуск изделий с показателями надёжности, соответствующими требованиям конструкторской нормативно-технической документации. Такие показатели их эксплуатационных свойств, как износостойкость, прочность, коррозионная стойкость и некоторые другие должны рассматриваться как критерии работоспособного состояния [1].

В периодической литературе опубликовано большое число статей, в которых изложены результаты исследований отдельных деталей быстроходных станков. В большинстве случаев имеющиеся результаты исследований по одному производителю нельзя использовать при анализе станков другого производителя. Кроме того, исследование работы одной детали

рассматривается в отрыве от взаимодействия ее с другими деталями. Следует также заметить, что различные вопросы надежности механизмов рассмотрены с различной глубиной и полнотой. Все это затрудняет возможность синтеза высоконадежных конструкций механизмов станков на стадии и опытной доводки и наладки на производстве.

Характеристики надежности наиболее полно и объективно могут быть определены в результате экспериментальной проверки, позволяющей оценить влияние всех внешних условий и действующих нагрузок. При этом используют следующие источники информации (рис. 1).



Рис. 1. Источники данных для определения информации о надежности

В общем случае методы статистической обработки информации о случайных величинах (внезапные отказы определяются случайными неблагоприятными сочетаниями нескольких факторов) можно разделить на отдельные группы.

К первой группе методов относят простейшие вычисления средних значений наработки между какими-либо событиями, если известны суммарная наработка всех подконтрольных изделий и число рассматриваемых событий (отказов, ремонтов, мероприятий по техническому обслуживанию и т.д.) за период наблюдения [2].

Во вторую группу входят методы расчетов средней величины какого-либо измеряемого признака x , если известны значения данного признака для нескольких наблюдаемых объектов. При этом должна быть получена оценка достоверности и точности расчета среднего значения для принятия решения о возможности распространения полученного результата на любой объект рассматриваемого типа.

К третьей, наиболее сложной группе, относятся методы нахождения распределения вероятностей случайных величин, что необходимо для оценки средней наработки до отказа, если за период наблюдения вышла из строя только часть изделий, а также для расчета гамма-процентных ресурсов или вероятности достижения предельного состояния.

С практической точки зрения оценка показателей надежности любого вида станков всегда производится по конечной ограниченной выборке, поэтому получаемое значение показателя представляет собой случайную величину, тем больше отклоняющуюся от генерального значения, чем меньше объем выборки. В связи с этим необходимо указывать доверительные пределы для найденного значения показателя надежности.

Доверительные пределы средней наработки на отказ определяются выражением (1):

$$T_{\min}^{\max} = \bar{T} \pm \frac{\sigma t g}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

где, \bar{T} – величина средней наработки станка на отказ;

σ – среднее квадратичное по ограниченной выработке;

t_β – табулированная в зависимости от доверительной вероятности величина, выведенная из уравнения (2).

$$\frac{2t(\frac{N}{2})}{\sqrt{\pi(N-1)t(\frac{N-1}{2})}} \int_0^{t_\beta} (1 + \frac{t^2}{N-1})^{-\frac{N}{2}} dt = \beta \quad (2),$$

где, $t(z)$ – гамма-функция аргумента.

Используя выражение коэффициента вариации, введем величину относительной точности оценки средней наработки на отказ станком (3):

$$\theta = (\overline{T_{max}} - \overline{T}) / \overline{T} \quad (3).$$

Используя полученные выражения, можно определить минимальный объем выработки для оценки средней наработки на отказ при заданной степени точности θ и доверительной вероятности N .

Приведем пример, зная основные параметры оборудования, установленного во время модернизации станочного оборудования, при $\beta = 0,9$; $\theta = 5\%$; коэффициенте вариации γ и, учитывая минимальный уровень выработки $N=44$, получим следующее.

Если средняя наработка некой части станка составляет $\overline{T} = 2000$ часов, а средняя выработка всего станка $\bar{t} = 1500$ часов, то необходимое число станков, по которым требуется проводить сбор информации о наработке и количестве отказов, будет равно (4):

$$k = \frac{N\overline{T}}{\bar{t}} = \frac{44 \cdot 2000}{1500} = 59 \quad (4).$$

Логично предположить, что для непрерывного контроля в течение заданного промежутка времени просто невозможно, а меньшее число не обеспечит заданной точности исследований.

Следовательно, более практичным шагом будет использовать информацию, предоставляемую заводом изготовителем, однако, информация, предоставленная заводом вследствие двухфакторного устаревания, не может нести полноценную информацию о количествах отказов станка и, как следствие, его надежности.

Считаем актуальным предложить следующий метод определения показателей надежности.

Предположим, что по поставленной партии станков N_0 изготовлены заводом производителем точно известно о n_0 отказов. При этом, на каждый n_i отказ произошел в интервале $(t'_i - t''_i)$. Так же для определения необходимых параметров на конкретном заводе имеется выборка часов работы за некий определенный промежуток времени. Зная эти параметры, можно вывести закон распределения выработок всех установленных на предприятии станков изготовленной определенной фирмой за необходимый промежуток времени.

Для определения этого закона, допустим предположение, что выработка станков описывается распределением Вейбулла с заданными параметрами τ_0 и μ . Исходя из которого можно выяснить количество станков из партии N_0 , проработавший свой ресурс t (5):

$$N_t = N_0 \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau_0} \right)^\mu \right] \quad (5).$$

Возьмем за допущение, что число отказов или поломок рассматриваемой партии станков на заданном предприятии аппроксимируется по времени законом Вейбулла с заданными

параметрами t_0 и m . Зная это, число отказов или поломок во временной интервал получится из следующего выражения (6):

$$n_t = n_0 \left[e^{-\left(\frac{t-\Delta t}{t_0}\right)^m} - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \right] \quad (6).$$

Отсюда следует, что отношение числа отказов в единицу времени Δt к числу работающих станков в определенный момент времени называется интенсивностью отказов или поломок (7):

$$\lambda_t = \frac{n_t}{N_t \Delta t} \quad (7).$$

А учитывая выше сказанное, можно представить заданное выражение в следующем виде (8):

$$\lambda_t = \frac{n_0}{N_0} e^{\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \left[\frac{e^{-\left(\frac{t-\Delta t}{t_0}\right)^m} - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}}{\Delta t} \right] \quad (8).$$

Для упрощения выражение используем предел $\Delta t \rightarrow 0$ (9):

$$\lambda(t) = \frac{n_0}{N_0} \frac{m}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \exp \left[\left(\frac{t}{t_0}\right)^\mu - \left(\frac{t}{t_0}\right)^m \right] \quad (9).$$

Для частных случаев, при условии, что $\mu = m = 1$ можно использовать следующее выражение (10):

$$\lambda(t) = \frac{n_0}{N_0 \bar{t}^*} \exp \left[\left(\frac{1}{\bar{t}} - \frac{1}{\bar{t}^*} \right) t \right] \quad (10),$$

Где, \bar{t} – средняя выработка станка в часах за определенный промежуток времени;

\bar{t}^* – условная средняя наработка на отказ элементов станка, по которым наиболее часто регистрируют отказы.

Анализ, проведенный в условиях предприятия ТОО «Maker-Майкер», показал достаточно высокий уровень точности предложенного метода. Например, при расчете параметров надежности для быстроходного станка с ЧПУ, установленного на предприятии 15.02.2015 г., который был произведен в Бразилии. При выработке в 2500 часов, выражение (10) полностью справедливо. Таким образом, простая зависимость позволяет оценить среднюю наработку на отказ любого станка, установленного на предприятии, практически не прибегая к дорогостоящим прогностическим моделям.

Литература

1. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения Кн. 2. Основы технологии машиностроения. – Москва: Машиностроение, 2012. – 367 с.
2. Елизаветин М. А. Технологические способы повышения долговечности машин / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. – Москва: Машиностроение, 2015. – 400 с.
3. Пронников А.С. Основы надёжности и долговечности машин. – Москва: Изд. стандартов, 2019. – 160 с.
4. Никонова Т.Ю., Жунуспеков Д.С., Абдрахманова К.М. Разработка единой системы подготовки производства при выпуске инновационной продукции в условиях Карагандинского литейно-механического завода ТОО «Maker». Техника и технологии

машиностроения: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. (Омск, 22–25 мая 2019 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – С. 44–48.

5. *Жетесова Г.С., Юрченко В.В., Никонова Т.Ю., Жаркевич О.М.* Автоматизация современного машиностроительного производства: Монография / Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2019. – 97 с.