

УДК 621.9.06(75.8)

НАДЕЖНОСТЬ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

*С.В. ПТИЦЫН, доцент**В.Ю. СКИБА, доцент, канд. техн. наук**Ю.С. ЧЕСОВ, доцент, канд. техн. наук**Е.В. МЕРЕЖКО, магистрант**(НГТУ, г.Новосибирск)*

Статья поступила 7 мая 2013 года

Скиба В.Ю. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail:skeeba_vadim@mail.ru

Рассматривается проблема прогностики качества при концептуальном проектировании технологического оборудования. Изложены основы методики прогнозирования распределений эксплуатационных параметров металлорежущих станков общего назначения. Для выбора оптимальных значений основных технических характеристик станков предложено применять крайние локальные максимумы вторых производных базовых функций. Для оценки достоверности прогноза качества используется надежность, которая определяется реализацией соответствующих оценок с наименьшим диапазоном неопределенности при выбранной величине вероятности. Методами статистического моделирования исследовано влияние неопределенности исходных эксплуатационных параметров станков на надежность прогноза. Установлена рациональная область применения предложенной методики в зависимости от степени универсальности технологического оборудования. Даются практические рекомендации по обеспечению надежности прогноза основных технических характеристик металлорежущих станков.

Ключевые слова: качество, надежность, прогнозирование, технологическое оборудование, статистическое моделирование.

Введение

В современных условиях производства проблемы повышения производительности труда и снижения производственных затрат всегда остаются актуальными, так как определяют стратегию развития промышленности во всех странах мира. Решение этих задач возможно только при обеспечении высокого качества технологических машин, в первую очередь, металлообрабатывающих станков и комплексов, являющихся основой современного машиностроения.

При оценке целесообразности повышения качества необходимо исходить не только из тех-

нического уровня технологических машин, но и из конкретных условий их использования потребителями. Сложность заключается в том, что для металлообрабатывающих станков общего назначения эти условия не являются детерминированными, так как зависят от типа производства, переменной номенклатуры обрабатываемых деталей и применяемых режущих инструментов, а также часто меняющихся расходов на эксплуатацию.

Основные показатели качества металлообрабатывающих станков – эффективность и гибкость (мобильность), которые обычно закладываются на начальном этапе концептуаль-

* Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

ного проектирования оборудования. Причем принятый уровень качества должен сохраняться в пределах всего жизненного цикла изделия. Учитывая продолжительность проектирования и длительность эксплуатации создаваемого технологического оборудования, задача выбора оптимального качества относится к области долгосрочного прогноза [1], неопределенность которого возрастает с увеличением периода учреждения.

Так как с экономической точки зрения избыточное качество так же невыгодно, как и недостаточное [2], то возникает проблема обеспечения надежности прогнозных оценок. Цель настоящих исследований заключается в том, чтобы установить степень влияния неопределенности прогноза условий эксплуатации станков общего назначения на надежность выбора их оптимального качества.

1. Теория и методика исследования

Качество определяется технологическими возможностями оборудования, которые, в свою очередь, зависят от размерных, скоростных, силовых и энергетических характеристик станков. Первые зависят от структуры параметрических рядов оборудования [3], а остальные являются функциями используемых режимов резания и связаны между собой корреляционной зависимостью

$$N = \frac{nM}{9554},$$

где N – эффективная мощность резания, кВт; n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; M – крутящий момент на шпинделе, Н·м.

Все эти параметры имеют случайный характер и их распределения (рис. 1) хорошо описываются функцией

$$f(x) = \sum_{i=1}^m P_i f_i(x),$$

где P_i – вероятность i -го сочетания вида обработки, материалов деталей и применяемых режущих инструментов; $f_i(x)$ – дифференциальная функция частного i -го распределения; m – количество сочетаний условий обработки; i – мультииндекс сочетаний условий обработки.

Ввиду недостатка информации на этапе концептуального проектирования оборудования оптимальных значений технических характеристик (ТХ) целесообразно использовать локальные максимумы (рис. 1) второй производной базовой функции $f''(x) \rightarrow \max$.

При достаточном объеме статистической информации за ретроспективный период прогноз вероятности P_i не представляет больших трудностей. Вместе с тем непосредственный прогноз распределений $f_i(x)$ осуществить сложно ввиду невозможности учета всего разнообразия условий использования оборудования в отдаленной перспективе. Поэтому в работе [4] предложено заменить непосредственный прогноз технических характеристик на более простой прогноз эксплуатационных параметров процесса об-

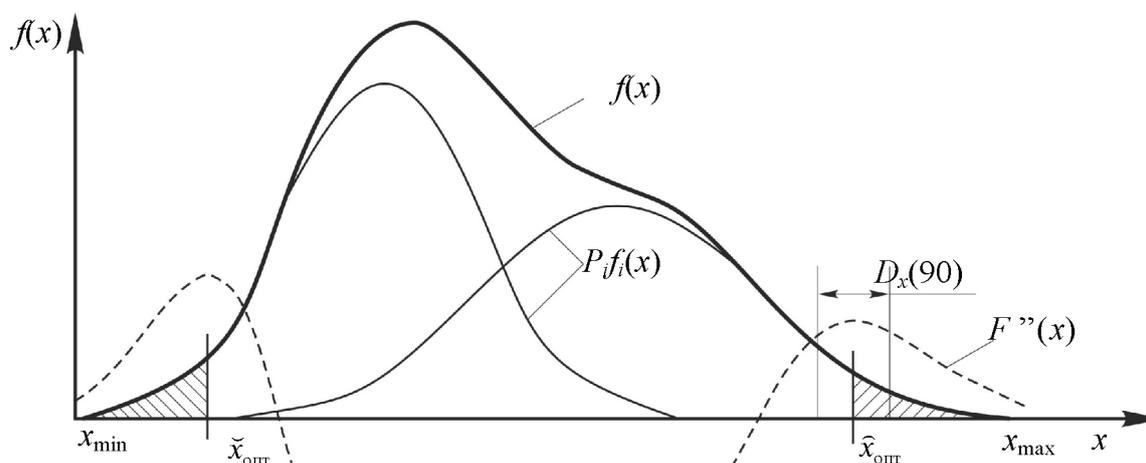


Рис. 1. Распределение эксплуатационных параметров



работки a . К ним относятся диаметры деталей или применяемых режущих инструментов: α , скоростей V и сил резания P . Установлено, что при определенных условиях обработки m , все эти параметры имеют логнормальное распределение [4]. Последнее может быть построено при известных средних значениях указанных параметров $E_{\ln a}$ и их средних квадратических отклонениях $\sigma_{\ln a}$. Для определения этих параметров можно воспользоваться зависимостями:

$$\sigma_{\ln a} = 3 - \sqrt{9 - 2(\ln a_{\max} - \ln \bar{a})},$$

$$E_{\ln a} = \overline{\ln a} = \ln a_{\max} - 3\sigma_{\ln a}.$$

Используя свойство устойчивости распределений и теорему о математических ожиданиях и дисперсиях [5] при композиции однотипных распределений случайных величин a , можно легко вычислить параметры распределений основных технических характеристик станков [4]. Но для этого необходимо дополнительно учесть наличие корреляционной связи между исходными эксплуатационными параметрами R_n , R_M и R_N [6].

В общем случае достоверность прогноза какой-либо переменной может быть оценена такими понятиями, как точность и надежность. Но о точности можно судить только тогда, когда событие уже состоялось по величине разности между предполагаемым и фактическим значениями. Следовательно, при проектировании для оценки достоверности прогноза приходится оперировать надежностью.

Для определения надежности прогноза ТХ целесообразно использовать некоторый диапазон неопределенности D_x , который через соответствующие квантили распределений определяет интервал возможного варьирования значений ТХ. Надежность же прогноза будет зависеть от реализации соответствующей оценки с наименьшим диапазоном неопределенности и заданной величины вероятности.

Решение поставленной ранее задачи осуществлялось с использованием метода Монте-Карло [7], который предполагает наличие информации о законах распределения исходных данных. Были проанализированы четыре возможных варианта распределений на предмет оценки их влияния на неопределенность различных ТХ станка. Показатели исходных распределений устанавлива-

лись в зависимости от характера тренда анализируемых параметров и величины возможного от него отклонения δ в пределах $\pm 40\%$.

Для сокращения трудоемкости в каждом эксперименте случайным образом разыгрывались 200 эксплуатационных ситуаций, что позволило формировать выводы с вероятностью $p = 0,995$ при допустимой ошибке $\varepsilon \leq 0,1$ [6]. Проверка адекватности полученных распределений ТХ теоретически выполнялась по критерию Пирсона χ^2 [5].

В результате проведенных предварительных экспериментов установлено, что при нормальном и равномерном распределениях исходных факторов неопределенность ТХ хорошо аппроксимируется логарифмически нормальной функцией, так как для всех исследуемых характеристик $P(\chi^2) > 0,05$. Если принять за основу эту гипотезу, то можно установить определенное соотношение между полудецильным диапазоном неопределенности $D_x(90)$ и средним квадратическим отклонением σ . Это соотношение выражается зависимостью $D_x(90) = \exp 3,29 \sigma$ [5].

Данный диапазон охватывает 90 % всех возможных вариантов ТХ, что позволяет в дальнейшем использовать его в качестве целевой функции. Следует отметить, что максимальные значения $D_x(90)$ зафиксированы при нормальном распределении исходных факторов, а минимальные – при равномерном. Поэтому все дальнейшие исследования были ограничены рассмотрением только нормального распределения погрешности исходных параметров, которому присущ наибольший диапазон неопределенности ТХ.

2. Результаты и обсуждение

Исследованию неопределенности прогноза ТХ была подвергнута группа токарных станков, для которой выделены 20 сочетаний условий обработки, охватывающих более 95 % выполняемых на этом оборудовании работ [8]. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

Если из практических соображений принять $D_x(90) \leq 2$, то можно при прогнозировании ограничить предельную величину отклонения исходных данных от тренда δ значениями $\pm 37\%$.

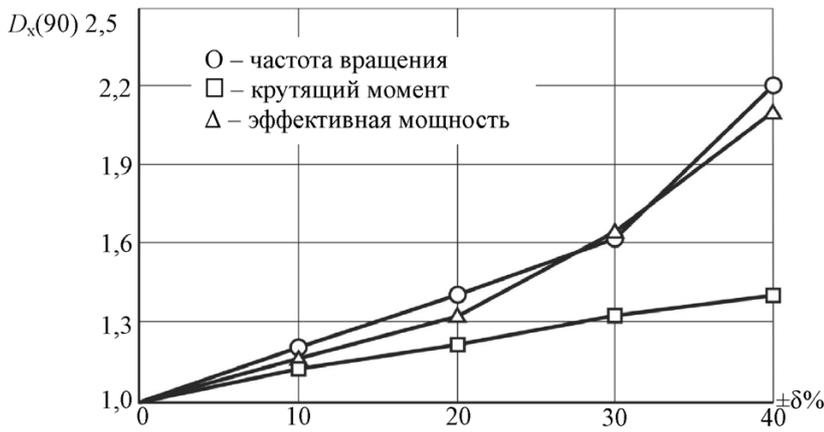


Рис. 2. Неопределенность прогноза технических характеристик станков

Представляет значительный практический интерес определение степени влияния каждого из исходных параметров на надежность прогноза ТХ станков. С целью установления значимости отдельных параметров было проведено специальное исследование. При этом осуществлялось варьирование анализируемого исходного параметра в заданных границах при фиксированных значениях всех остальных факторов. Результаты моделирования отражены на рис. 3.

Проведенные исследования показали, что в первую очередь внимание следует обращать на прогноз средних значений диаметров обрабатываемых поверхностей или применяемого режущего инструмента, а также средних режимов резания, поскольку именно им принадлежит наибольший вклад в неопределенность ТХ.

Максимальные же значения эксплуатационных параметров и все коэффициенты корреляции не оказывают столь заметного влияния на результат моделирования. Вероятность воспроизведения на станке конкретных условий обработки проявляет себя лишь при минимальных значениях δ и m .

Так как методика обоснования качества [4] в основном ориентирована на станки общего назначения, то определенный интерес представляет выявление надежности прогноза ТХ от степени универсальности оборудования. Последняя обычно характеризуется количеством выполняемых на станке технологических опе-



Рис. 3. Влияние исходных параметров на надежность прогноза универсальных станков

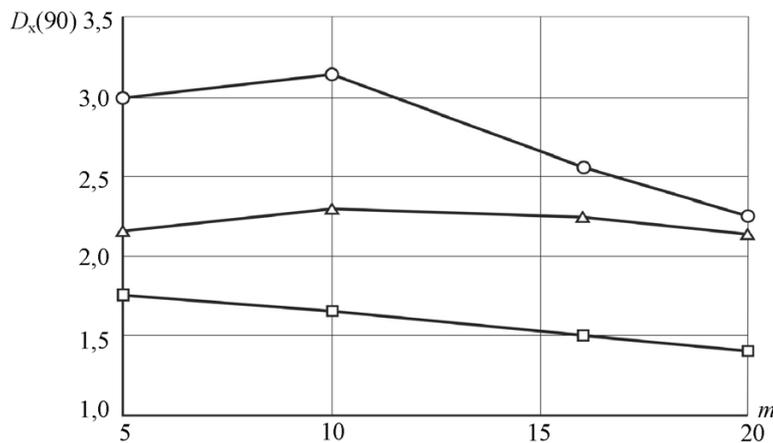


Рис. 4. Зависимость неопределенности прогноза от универсальности станка

раций m . Математическим моделированием установлено, что с увеличением универсальности станков неопределенность прогноза ТХ при $m > 10$ стабильно уменьшается (рис. 4).

Этот результат согласуется с утверждением других авторов [1] о том, что неопределенность прогноза суммы большого числа микрообъектов уменьшается с увеличением их количества примерно в соотношении $(\sqrt{m})^{-1}$.

Результаты приведенных экспериментов открывают возможность выбора оптимальной стратегии подготовки исходных данных, которая позволяет реализовывать с минимальными затратами процедуру прогнозирования без существенного снижения ее надежности. Так, для прогноза несущественных исходных факторов целесообразно использовать более простой метод экспертных оценок, а для значимых – метод экстраполяции, требующий сбора статистической информации. При этом в качестве математической модели, адекватно отражающей эволюционный процесс изменения таких факторов, наиболее подходит логистическая кривая, параметры которой определяются путем выборочных исследований условий обработки деталей в ретроспективном периоде. Прогноз распределений геометрических размеров обрабатываемых деталей и применяемых режущих инструментов можно не выполнять, так как они устанавливаются на основе оптимизации параметрических рядов технологического оборудования [3] и поэтому не требуют каких-либо специальных исследований.

Выводы

Проведенные исследования показали возможность обеспечения надежности прогноза качества на стадии концептуального проектирования металлообрабатывающих станков общего назначения.

Выявлена возможность замены детерминированного прогноза качества на интервальный, расширяющий область поиска оптимальных решений. Дана количественная оценка зависимости надежности прогноза технических характеристик станков от уровня неопределенности исходной информации. Определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество оборудования, и даны практические рекомендации по его обеспечению.

Установлена область рационального использования разработанной методики оптимизации качества в зависимости от степени универсальности оборудования.

Список литературы

1. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Наука, 1972. – 224 с.
2. Львов Д.С. Экономика качества продукции. – М.: Экономика, 1972. – 255 с.
3. Птицын С.В., Чесов Ю.С. Параметрическая оптимизация качества станочного оборудования // СТИН. – 2002. – № 6. – С. 19–23.
4. Математическое моделирование в машиностроении: учеб. пособие / под ред. проф. П.И. Остроменского; Новосибирский электротехнический институт. – Новосибирск, 1990. – 83 с.
5. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.
6. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
7. Бахвалов Н.С. Численные методы. – [Т. 1]. – М.: Наука. 1975. – 631 с.
8. Птицын С.В., Чесов Ю.С. Прогнозирование технических характеристик металлорежущих станков: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 52 с.

Reliability prediction of quality process equipment

Ptitsyn S.V., Skeebe V.Yu., Chesov Yu.S., Merezhko E.V.

Novosibirsk State Technical University, Karl Marx avenue, 20,
Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The problem prognostics of quality at conceptual designing of the process equipment is considered. The foundations of methods of prediction the distribution of performance parameters of general purpose machine tools are stated. To select the optimum values of the basic technical characteristics of the machinery it is proposed to use extreme local maxima of the second derivatives of basic functions. The reliability is used to assess of the quality prediction, and is determined by the implementation of relevant assessments with the lowest range of uncertainty in the chosen value of the probability. The effect of the uncertainty of initial operating parameters for reliability prediction tools is studied by the methods of statistical modeling. Rational scope of the proposed method depending on the degree of universality of process equipment is stated. Practical recommendations to ensure the reliability of the forecast of the basic characteristics of metal-cutting machine tools are given.

Keywords: prediction, quality, statistical modeling, processing equipment.

References

1. Lisichkin V.A. *Teorija i praktika prognostiki* (Theory and practice of prognostication). Moscow: Nauka, 1972. 224 p.
2. L'vov D.S. *Ekonomika kachestva produktsii* (Economics of product quality). Moscow: Ekonomika, 1972. 255 p.
3. Ptitsyn S.V., Chesov Yu.S. *STIN*, 2002, no. 6, pp.19-23.
4. Ostromenskij P.I. *Matematicheskoe modelirovanie v mashinostroenii* (Mathematical modelling in mechanical engineering), Novosibirsk Electric Technical Institute (NETI), Novosibirsk, 1990. 83 p.
5. Solonin I.S. *Matematicheskaja statistika v tehnologii mashinostroenija* (Mathematical Statistics in Mechanical Engineering). Moscow, Mashinostroenie, 1972. 216 p.
6. Mitropol'skiy A.K. *Tehnika statisticheskikh vychisleniy* (Technique of static calculations). Moscow: Nauka, 1971. 576 p.
7. Bahvalov N.S. *Chislennyemetody [T.1]* (Numerical Methods. Vol.1). Moscow, Nauka, 1975. 631 p.
8. Ptitsyn S.V., Chesov Yu.S. *Prognozirovaniye tehnikeskikh harakteristik metallovezhushhih stankov* (Technical characteristics prediction of metal-cutting machines), Novosibirsk, NSTU, 1998. 52 p.