

7. Nikitin, Yu. R.; Abramov, I. V. CNC machines diagnostics // *Mechatronika 2010 : Proceedings of 13th International Symposium on Mechatronics : June 2-4, 2010, Trencianske Teplice, Slovakia.* – Pp. 89-91.

8. Nikitin, Yu. R.; Abramov, I. V. Information Processes Models of Mechatronic Systems Diagnosis // *University Review.* – 2011. – Vol. 5, No. 1. – Pp. 12-16. – URL: http://www.tnuni.sk/fileadmin/dokumenty/univerzita/casopisy/university_review/UR_2011_01.pdf (дата обращения: 28.11.2013).

9. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум : монограф. сб. материалов семинара VII Междунар. науч.-техн. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса», 3–4 февр. 2009 г. / Урал. гос. лесотех. ун-т ; [под ред. А. А. Санникова, Н. В. Куцубиной]. – Екатеринбург : [б. и.], 2009. – 416 с. – URL: <http://usfeu-lmf.ru/pud/cbp/mater/%D0%92%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0,%20%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0,%20%D0%B2%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%B8%20%D1%88%D1%83%D0%BC.%20%D0%A7.1.pdf> (дата обращения: 28.11.2013).

10. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Информационные процессы в устройствах диагностирования мехатронных

систем // *Интеллектуал. системы в пр-ве.* – 2011. – № 1. – С. 206–215.

11. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Диагностирование мехатронных систем : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 116 с.

12. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. О построении системы диагностирования станков с ЧПУ // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2011. – № 4. – С. 32–35.

13. Санников А. А., Куцубина Н. В. Техническая диагностика машин и оборудования // *Подготовка кадров и эффективность производства. Предприятие – ВУЗ. Опыт многолетнего сотрудничества : монограф. сб. / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т ; [под ред. А. А. Санникова, Н. В. Куцубиной, Л. В. Фисюк].* – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – С. 263–280.

14. О методах прогнозирования вибрационного состояния бумагоделательных машин при планируемом увеличении их скорости / А. А. Санников [и др.] // *Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та им. М. Т. Калашникова.* – 2012. – № 2. – С. 16–19.

15. Филинов М. В., Фурсов А. С., Ключев В. В. Подходы к оценке остаточного ресурса технических объектов // *Контроль. Диагностика.* – 2006. – № 8. – С. 6–16.

16. Ключев В. В., Фурсов А. С., Филинов М. В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов // *Контроль. Диагностика.* – 2007. – № 3. – С. 18–23.

Yu. R. Nikitin, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Mechatronic Systems, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
I. V. Abramov, DSc in Engineering, Professor, Department of Mechatronic Systems, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
P. I. Stepanov, Post-graduate, Senior Teacher, Department of Automation Control, Novouralsk Institute of Technology – branch of the State educational institution of higher professional education "National Research Nuclear University "MEPhI"

Logical linguistic model of diagnosing and predicting the residual life of mechatronic objects

The paper describes the logical linguistic model of diagnosing and predicting the residual life of the mechatronic objects that have a hierarchical structure and are constructed in a modular fashion. Logical linguistic model of diagnosis and prediction of mechatronic objects is a complex consisting of a description of the source of linguistic variables and technical conditions, the laws of the physical processes of degradation in the mechanical, electrical, electromechanical, electronic devices, patterns between defects and diagnostic parameters, characteristics and modes of operation of mechatronic objects, the rule base of fuzzy inference system to determine the technical condition.

Keywords: mechatronic objects, diagnosing, predicting the residual life, logical linguistic model

Получено: 31.10.13

УДК 658.512

О. В. Никитина, кандидат технических наук, доцент;
А. Ю. Уразбахтина, кандидат технических наук, доцент
Воткинский филиал

Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРИТИЧНОСТИ В РАБОТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ*

Рассматриваются критические ситуации, которые могут возникнуть при фрезеровании деталей ракет: износ зубьев фрезы; неравномерность фрезерования; отклонения от точности формы и шероховатости; низкая производительность; высокая температура в зоне фрезерования. Разработаны показатели математической модели для числовой оценки вероятности возникновения критических ситуаций. По значениям показателей оценены два варианта состояния технологической системы фрезерования.

Ключевые слова: критические ситуации, математическая модель, корпус ракеты, фрезерная обработка

© Никитина О. В., Уразбахтина А. Ю., 2013

* Статья написана в рамках реализации целевой федеральной программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

В условиях современного производства при изготовлении корпусов ракет применение находит фрезерование как один из производительных и универсальных технологических способов механической обработки.

В результате этой механической обработки детали корпуса ракет получают с требуемым качеством.

Качество, которое оценивается степенью соответствия изготавливаемой детали требованиям чертежа с точки зрения размеров, технических условий, которые задаются специальными показателями. Они характеризуют точность изготовления по размерам, форме, характеристикам взаимного расположения поверхностей, рельефа поверхностей (шероховатость), физико-химического и физико-механического состояний материала.

Совокупность этих количественных оценок \bar{y}_i выполнения технологического процесса фрезерования, в том числе и с технико-экономическими характеристиками производства, составляет математическую модель. Для ее построения рассмотрим процесс фрезерования деталей корпусов ракеты.

Принято считать, что для качественного процесса фрезерования деталей корпусов ракет необходимо назначить оптимальные параметры технологического процесса – режимы резания, параметры и характеристики материалов, оборудования. В случае, когда имеет место несоблюдение хотя бы одного требования, в таком процессе фрезерования возникает предельная (критическая) ситуация. Критические ситуации можно оценить по последствиям, которые могут возникнуть. Развитие критических ситуаций предлагается оценивать по количественным оценкам (показателям) \bar{y}_i , каждая из которых оценивает степень приближения к предельному состоянию по отдельному свойству выполняемых требований или условий. Для проведения сравнительного анализа все показатели представляются в отнормированном виде. Диапазон изменения значений устанавливается от 0 до 1. Значение показателя, равное единице (или более), соответствует случаю, когда возникла критическая ситуация [3, 4].

Интегральной оценкой (критерием) качества выполнения всего процесса фрезерования силовых корпусов ракеты является среднее значение всех показателей \bar{y}_i [3, 4]. Очевидно, процесс фрезерования будет наилучшим в случае

$$Y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{y}_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где m – количество показателей.

Значение этого критерия соответствует степени критичности процесса фрезерной обработки деталей силовых корпусов ракет. В такой трактовке условие (1) означает: чем меньше будет значение \bar{y}_i , тем качественнее будет выполнение фрезерной операции.

В процессе фрезерования поверхностей корпусных деталей ракеты могут возникнуть критические ситуации, имеющие различное физическое содержание. В математической модели ситуации разделены на группы, каждая из которых характеризует проявление отдельного свойства. Здесь выделены такие группы: износ инструмента (в основном зубьев фрезы), стружкообразование при фрезеровании, изменение заготовок (деталей) и шероховатости поверхностей деталей, экономичность механической обработки. Рассмотрим показатели каждой из этих групп.

Износ инструмента

Силовые корпуса ракет состоят из деталей, имеющих строго фиксированные формы и геометрические размеры. Это может быть получено при использовании высококачественного инструмента – фрезы.

Однако в процессе эксплуатации такой инструмент с течением времени подвергается износу из-за действия сил в зонах контакта с заготовкой. Износ приводит к изменению свойств и возможностей инструмента. Например, при превышении установленного уровня износа такой фрезой не удастся обеспечить необходимую точность обработки заготовки (детали).

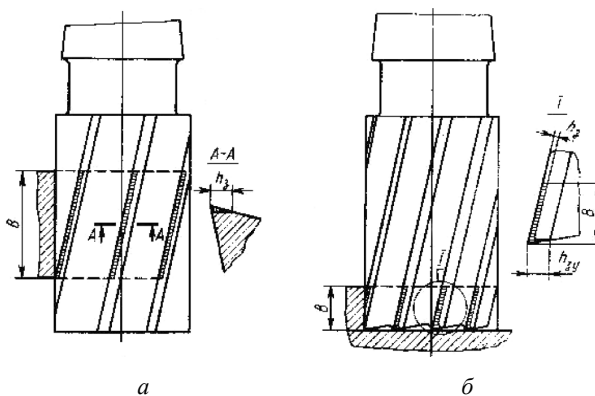


Рис. 1. Износ задних поверхностей лезвий на цилиндрической и торцевой части концевых фрез: а – в резании участвуют только главные лезвия фрезы; б – в резании участвуют главные и вспомогательные (на торце фрезы) лезвия фрезы [5]

Работоспособность фрезы определяется критериями износа, стойкости, режущими свойствами инструментального материала, а также режимами резания, геометрией режущей части инструмента, параметрами заточки инструмента, применяемыми оборудованием и оснасткой.

Износ фрез количественно оценивается шириной лезвия, подвергаемого износу на задней поверхности зубьев h_3 [2] (рис. 1). Значение ширины назначается в зависимости от характера обработки (черновая, чистовая) заготовки, конструкции фрезы (затылованная или остро заточенная) и способа заточки (и переточки) фрезы.

В случае, когда ширина износа лезвия оказывается больше рекомендуемого $[h_3]$, возникает критическая ситуация. Она оценивается показателем

$$\bar{y}_1 = \frac{h_3}{[h_3]}, \quad (2)$$

где h_3 – фактическая ширина износа лезвия; $[h_3]$ – предельная ширина износа лезвия, полученная на основании производственного опыта эксплуатации подобных фрез. Опыт позволил установить следующие значения $[h_3]$, мм [1]: а) для затылованных фасонных фрез: 0,3...0,4 – при черновой; 0,2 – при чистовой обработке; б) для остро заточенных фасонных фрез: 0,6...0,7 – при черновой; 0,2...0,3 – при чистовой обработке; в) для торцовых фрез: 0,8...1,0 – при черновой; 0,3...0,5 – при чистовой обработке; г) для дисковых фрез: 0,4...0,6 – при черновой; 0,15...0,25 – при чистовой обработке; д) для цилиндрических фрез: 0,4...0,6 – при черновой; 0,15...0,25 – при чистовой обработке; е) для концевых фрез: 0,3...0,5 – при черновой; 0,2...0,3 – при чистовой обработке.

Интенсивность износа фрезы определяется толщиной a_z срезаемого слоя, которая определяется выражением

$$A_z = S_z \cdot \sin \psi \cdot \sin \varphi_0, \quad (3)$$

где S_z – значение подачи на зуб, мм/зуб; ψ – угол контакта фрезы, в град; φ_0 – угол наклона главных лезвий фрезы к торцовой плоскости. Опыт показывает, что оптимальное значение при торцовом фрезеровании $\varphi_0 = 20...30^\circ$.

Экспериментально установлено, что наиболее интенсивное изнашивание задней поверхности лезвий фрезы происходит при толщине срезаемого слоя $[a_z]$ больше 0,04 мм [2]. Индикатором критической ситуации тогда является показатель

$$\bar{y}_2 = \frac{a_z}{[a_z]}. \quad (4)$$

Следующей характеристикой износа фрезы является стойкость T_ϕ , которая определяется отрезком времени, в течение которого инструмент используется без переточки. В зависимости от типа инструмента нормативная стойкость T_{np} принимается следующая [1]: для торцовых фрез – 120...240 мин; для цилиндрических с мелким зубом – 120...180 мин; для цилиндрических со вставными ножами – 180 мин; для концевых фрез – 60...120 мин; для дисковых – 120...180 мин; для прорезных и отрезных – 60...120 мин; для фасонных прямозубых затылованных фрез – 120...180 мин; для фасонных остро заточенных фрез с наклонными зубьями – 360...480 мин.

Действительная стойкость фрезы определяется выражением [2]:

$$T_\phi = \left[\frac{C_v D^q}{v t^x S_z^y B^u z^u} \right]^{1/m}, \quad (5)$$

где C_v – нормативный коэффициент стойкости фрезы [2]; D – диаметр фрезы, мм; V – скорость фрезерования, м/мин; t – глубина фрезерования, мм; S_z – подача фрезы на зуб, мм/зуб; B – ширина фрезерования,

мм; z – количество зубьев фрезы; q, x, y, n, u, m – показатели степени [2].

Критическую ситуацию по стойкости фрезы предлагается оценивать показателем:

$$\bar{y}_3 = \frac{T_{np}}{T_\phi}. \quad (6)$$

Стружкообразование при фрезеровании

При выполнении фрезерных операций заготовки подвергаются неравномерности обработки, что вызвано непостоянством площадей сечений срезаемого слоя и действующей окружной силы. Развитие возникающих критических ситуаций здесь приводит, как правило, к увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности.

При фрезерной обработке резание осуществляется одновременно несколькими зубьями. Это учитывается при выборе ширины фрезерования и геометрических параметров конструкции фрезы (диаметров, угла наклона винтовых зубьев). Критичность стремятся исключить путем обеспечения постоянства окружной силы на фрезе и суммарной площади сечений срезов A_{max} . Неравномерность фрезерования при использовании фрез со спиральными зубьями происходит также при непостоянстве площади сечения слоя, срезаемого одним или несколькими зубьями фрезы. Появление этой критической ситуации предлагается оценивать показателем

$$\bar{y}_4 = \frac{k}{k_{цел}} - 1, \quad (7)$$

где коэффициент кратности k ($k = 1, 2, 3$ и т. д.) определяют выражением [2]:

$$k_{цел} = \left[\frac{z \cdot B \cdot \operatorname{tg} \omega}{\pi \cdot D} \right], \quad (8)$$

где z – количество зубьев фрезы; B – ширина фрезерования; ω – угол наклона винтового зуба фрезы; D – наружный диаметр фрезы.

Критическую ситуацию, связанную с неравномерностью фрезерования, можно оценивать также по суммарной площади поперечного сечения слоев, срезаемых одновременно режущими зубьями фрезы [2] (рис. 2). Считается что если эта площадь в процессе резания фрезой не будет постоянной, то возникает критическая ситуация. Выражение показателя имеет вид:

$$\bar{y}_5 = \frac{\left| \sum_{i=1}^n \Delta A_i(t) - A_{max} \right|}{A_{max}}, \quad (9)$$

где $\sum_{i=1}^n \Delta A_i(t)$ – сумма толщин срезаемого слоя зубьями фрезы, $t \in [0, t_0]$ – продолжительность технологической операции фрезерования; $A_{max} = \frac{a_{max} b_{max}}{2}$ – площадь полного срезаемого слоя; a_{max} – максимальная толщина, срезаемая зубом фрезы; b_{max} – максимальная ширина, срезаемая зубом фрезы.

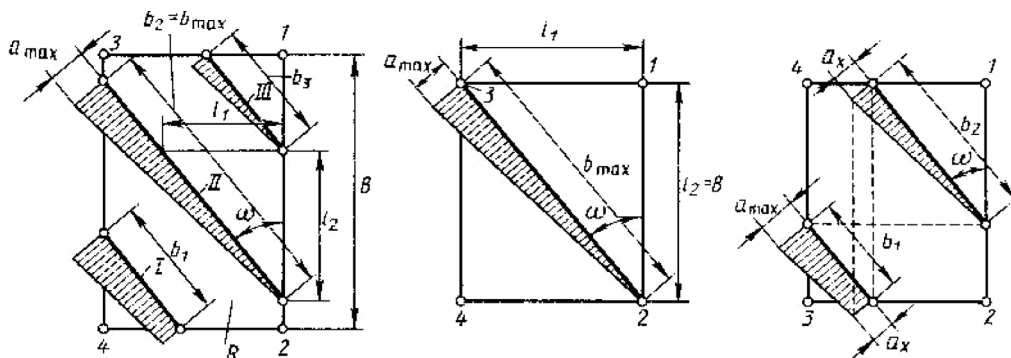


Рис. 2. Условия равномерного фрезерования [5]

Формоизменение заготовок (деталей) и шероховатость поверхности

Не менее опасными являются критические ситуации, связанные с неточностью изготовления деталей силовых корпусов ракеты, т. е. несоответствие геометрическим параметрам чертежной документации. Считается, что точность изготовления определяется степенью соответствия заданным характеристикам формы, размеров, расположения обработанных поверхностей, шероховатости заранее заданному образцу и техническим условиям [5, 6].

За критическую ситуацию принимают случаи, когда хотя бы один параметр не соответствует требованиям чертежной документации. Эту группу критических ситуаций предлагается оценивать следующими показателями:

– по параметрам плоскостности:

$$\bar{y}_6 = \frac{\delta_{pl}}{[\delta_{pl}]}, \tag{10}$$

где δ_{pl} – фактическое отклонение от плоскостности, полученное при обработке фрезерованием, мкм; $[\delta_{pl}]$ – допустимое отклонение от плоскостности, указанное на чертеже детали, мкм;

– по степени прямолинейности:

$$\bar{y}_7 = \frac{\delta_{pr}}{[\delta_{pr}]}, \tag{11}$$

где δ_{pr} – фактическое отклонение от прямолинейности, полученное при обработке фрезерованием, мм; $[\delta_{pr}]$ – допустимое отклонение от прямолинейности, указанное на чертеже детали, мм;

– по взаимному параллельному расположению плоскостей детали после фрезерования:

$$\bar{y}_8 = \frac{\delta_{\parallel}}{[\delta_{\parallel}]}, \tag{12}$$

где δ_{\parallel} – фактическое отклонение от взаимной параллельности плоскостей, полученное при обработке фрезерованием, мм; $[\delta_{\parallel}]$ – допустимое отклонение от взаимной параллельности плоскостей, указанное на чертеже детали, мм;

– по взаимному перпендикулярному расположению плоскостей детали после фрезерования:

$$\bar{y}_9 = \frac{\delta_{\perp}}{[\delta_{\perp}]}, \tag{13}$$

где δ_{\perp} – фактическое отклонение от взаимной перпендикулярности плоскостей, полученное при обработке фрезерованием, мм; $[\delta_{\perp}]$ – допустимое отклонение от взаимной перпендикулярности плоскостей, указанное на чертеже детали, мм;

– по шероховатости плоскостей детали после фрезерования:

$$\bar{y}_{10} = \frac{\Delta h}{Ra}, \tag{14}$$

где Δh – фактическое отклонение от шероховатости плоскостей, полученное при обработке фрезерованием, мкм; Ra – предельное отклонение от шероховатости плоскостей, указанное на чертеже детали, мкм.

Экономичность механической обработки

Перейдем к рассмотрению показателей критичности с точки зрения затрат материальных и производственных ресурсов. Производительность является одной из важнейших характеристик механической обработки. При фрезеровании она определяется удельным объемом снимаемого материала Q , мм³/мин:

$$Q = \frac{a_{z\max} \cdot b \cdot l}{\tau} \text{ или } Q = \frac{S_z \cdot \sin \psi \cdot b \cdot l}{\tau}, \tag{15}$$

где $a_{z\max}$ – толщина слоя металла, срезаемого с заготовки зубом фрезы, мм; b – ширина слоя металла, срезаемого с заготовки зубом фрезы, мм; l – длина обрабатываемой заготовки, мм; τ – продолжительность обработки заготовки, мин; S_z – подача фрезы на зуб, мм/зуб; ψ – угол контакта фрезы.

При обработке деталей силовых корпусов ракеты критическая ситуация по этой характеристике определяется показателем:

$$\bar{y}_{11} = \frac{Q}{[Q]}, \tag{16}$$

где $[Q]$ – производительность обработки, зависящая от конкретных производственных условий на предприятии.

Производительность при фрезеровании определяется массой металла, превращенной в стружку в единицу времени [2]:

$$m = 6 \cdot 10^{-8} n \cdot z \cdot t \cdot B \cdot S_z \cdot \rho, \quad (17)$$

где n – частота вращения фрезы, об/мин; z – число зубьев фрезы; t – глубина фрезерования, мм; B – ширина фрезерования, мм; S_z – подача, мм/зуб; ρ – плотность обрабатываемого металла, кг/м³.

В этом случае критическая ситуация при обработке деталей корпусов ракеты фрезерованием будет оцениваться показателем

$$\bar{y}_{12} = \frac{m}{[m]}, \quad (18)$$

где $[m]$ – допустимая масса обработки, которая определяется производственными условиями.

Другой характеристикой экономичности механической обработки является эффективная мощность N_e (кВт) процесса фрезерования металлов. Она определяется выражением [2]:

$$N_e = \frac{P_{окр} v}{60}, \quad (19)$$

где $P_{окр}$ – окружная составляющая силы резания, кН; v – скорость резания, м/мин.

Окружная сила $P_{окр}$ при фрезеровании находится экспериментально с помощью специальных фрезерных динамометров. Статистическая обработка полученных измерений для случаев использования различных видов фрез позволила определить выражение авторами [2]

$$P_{окр} = C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot z_p \cdot B \cdot D^n, \quad (20)$$

где C_p – поправочный коэффициент; t – глубина фрезерования; S_z – подача на зуб фрезы; z_p – число зубьев фрезы, одновременно выполняющих рабочий цикл; B – ширина фрезерования; D – диаметр фрезы.

Критическая ситуация на основе этой характеристики – N_6 (кВт) – возникает в случае, если необходимая мощность, затрачиваемая на процесс фрезерования металлов, окажется больше имеющейся мощности станка. Выражение показателя в таком случае имеет вид

$$\bar{y}_{13} = \frac{N_e}{[N_{max}]}, \quad (21)$$

где $[N_{max}]$ – максимальная эффективная мощность фрезерования, достигаемая на шпинделе используемого станка.

Таковы аналитические выражения в математической модели критических ситуаций, возникающих при фрезерной обработке силовых корпусов ракет. Эта математическая модель позволяет оценивать и сравнивать качество выполнения технологических операций фрезерной обработки деталей корпусов ракеты. Оценка в этих случаях должна проводиться по критерию (1), а также интегральных характеристик износа инструмента – $Y_1 = (y_1 + y_2 + y_3)/3$; стружкообразования при фрезеровании – $Y_2 = (y_4 + y_5)/2$; формообразованию заготовок (деталей) – $Y_3 = (y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10})/5$; экономичности механической обработки – $Y_4 = (y_{11} + y_{12} + y_{13})/3$.

В качестве примера оценим две технологические операции фрезерной обработки одной и той же детали из алюминивно-магниевого сплава АМг6 (габаритным диаметром и диаметром обработки 1200 мм; массой 60,8 кг; требуемая шероховатость после обработки $Ra = 3,2$ мкм; производительность обработки $[Q] = 12,3$ см³/мин; допустимое отклонение от взаимной перпендикулярности плоскостей $[\delta_{\perp}] = 0,3$ мм; допустимое отклонение от взаимной параллельности плоскостей $[\delta_{\parallel}] = 0,5$ мм; допустимое отклонение от прямолинейности $[\delta_{pr}] = 0,2$ мм), выполняемые на горизонтально-расточном станке WHN110Q и на сверлильно-фрезерно-расточном 2000VHT. Режимы обработки: скорость резания $v = 230$ м/мин; глубина фрезерования $t = 2$ мм; диаметр фрезы $D = 125$ мм; количество зубьев фрезы $z = 8$; ширина фрезерования $B = 100$ мм; число зубьев фрезы, одновременно выполняющих рабочий цикл, $z_p = 4$; синус угла контакта при фрезеровании $\sin\psi = 0,01613$; угол наклона винтового зуба фрезы $\omega = 35$ град.

Исходные данные, различные для двух вариантов, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Содержание параметров, размерность	Обозначение параметра	Значение показателя	
		1-я технологическая система станок WHN110Q	2-я технологическая система станок 2000VHT
Эскиз обработки			
Подача на зуб фрезы, мм/зуб	S_z	0,01	0,021
Максимальный диаметр обрабатываемой детали на станке, мм	D_{max}	1400	2000

Окончание табл. 1

Содержание параметров, размерность	Обозначение параметра	Значение показателя	
		1-я технологическая система станок WHN110Q	2-я технологическая система станок 2000VHT
Наибольшая масса обрабатываемой детали на станке, кг	$[m]$	8000	3000
Номинальная мощность главного двигателя станка, кВт	$[N_{\text{шт}}]$	37	19

Результаты расчета по математической модели представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2. Показатели качества выполнения фрезерной операции

Группа и номер показателя	Обозначение	Значения в вариантах	
		I	II
Износ инструмента	Y_1	0,2226011	0,617245
1	y_1	0,525	0,8375
2	y_2	0,0036051	0,007571
3	y_3	0,1391982	1,006665
Стружкообразование при фрезеровании	Y_2	0,034043	0,05071
1	y_4	0,0348	0,0348
2	y_5	0,0333333	0,066667
Формообразование заготовок-деталей	Y_3	0,4975873	0,735079
1	y_6	0,6	0,8
2	y_7	0,5	0,75
3	y_8	0,4	0,58
4	y_9	0,48	0,72
5	y_{10}	0,5079365	0,825397
Экономичность фрезерной обработки	Y_4	0,227501	0,38163
1	y_{11}	0,2016261	0,423415
2	y_{12}	0,48	0,72
3	y_{13}	0,000877	0,001474
Общий показатель качества	Y	0,2454331	0,446166

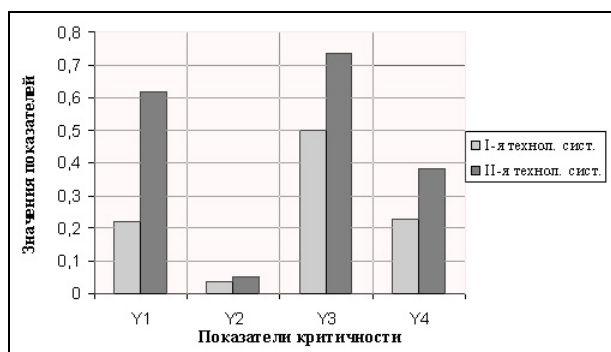


Рис. 3. Результаты моделирования

Анализ результатов расчета показывает, что во второй технологической системе по показателю \bar{y}_3 возникает критическая ситуация. И на производстве необходимо задействовать технологическую систему с параметрами по I варианту.

На основании вышеизложенного делаем выводы:

1. Создана математическая модель оценки качества и возможности применения технологической системы фрезерования.
2. Математическая модель позволяет управлять работоспособностью изготовления деталей корпусов ракет и избегать критических ситуаций при фрезеровании.

Библиографические ссылки

1. Бломберг В. А. Справочник фрезеровщика. – Л. : Машиностроение, 1972. – 360 с.
2. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов : учеб. для машиностроит. и приборостроит. специальностей вузов. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.
3. Уразбахтин Ф. А. Критические ситуации в жизненном цикле ракетного комплекса // Вестн. Акад. воен. наук. – 2011. – № 3. – С. 340–349.
4. Уразбахтин Ф. А., Уразбахтина А. Ю., Хмелева А. В. Критические ситуации при производстве и технической эксплуатации транспортно-пусковых контейнеров ракет. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 408 с.
5. Кувшинский В. В. Фрезерование. – М. : Машиностроение, 1977. – 240 с.
6. Никитина О. В., Чумакова Е. В. Определение радиального биения в задачах технологии машиностроения // Научные и методические проблемы подготовки конкурентоспособных специалистов для Удмуртии : материалы науч.-метод. конф., май 2007 г. / [сост. В. И. Сметанин, А. Н. Шельпяков ; редкол.: Б. А. Сентяков и др.]. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. – С. 117–120.

O. V. Nikitina, PhD in Engineering, Associate Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University
A. Yu. Urazbakhtina, PhD in Engineering, Associate Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Mathematical models of indicators of criticality in work of technological systems on the example of milling processing

Critical situations which can arise when milling details of rockets are considered: wear of mill teeth; unevenness of milling; deviations from the shape and roughness accuracy; low productivity; high temperature in a milling zone. Indicators of mathematical model are developed for a numerical assessment of probability of critical situation emergence. According to values of indicators two options of the state of the milling technological system are estimated.

Keywords: critical situations, mathematical model, rocket case, milling processing