

In clause the technology of submission ferromagnet of a powder in a zone welding by an electromagnetic way is considered. It is offered bunker dosage the powder allowing dosage submission of a powder in a working zone. The size of submission is established depending on granulometrical of structure of a powder and corner of an inclination dosage. The results of research of process vibrotransportation of powders various granulometrical of structure are given.

УДК [621.9:62-502.55]:62-192

Горбунов В.П., Рудюк А.Н.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПО ВЫХОДНОМУ ПАРАМЕТРУ

Введение. Основной тенденцией современного машиностроительного производства является выпуск деталей с высокими показателями точности. Количество прецизионных деталей, изготавливаемых предприятиями, может изменяться в широких пределах: от отдельных экземпляров до больших серий. Типичным примером могут быть корпусные детали, характеризующиеся наличием плоских поверхностей различных размеров и отверстий, как основных, так и крепежных, оси которых расположены под различными углами. Требования обеспечения высокой точности при механической обработке достигаются либо традиционными методами, т.е. созданием новых усовершенствованных конструкций станков, либо управлением состояния станка, который находится в эксплуатации. Второй путь наиболее привлекателен тем, что в промышленности имеется большое количество станков с системами автоматического управления, в том числе многоцелевых станков (МЦС) с ЧПУ и оценка их текущего состояния и оперативное изменение его требует меньших затрат при хороших результатах. Широкие технологические возможности и высокая степень автоматизации МЦС с ЧПУ обеспечиваются наличием автономных управляемых системой ЧПУ приводов координатных перемещений рабочих органов, расширенным диапазоном регулируемых частот вращения шпинделя и подач, наличием устройств автоматической смены инструмента и заготовок, оснащением системами контроля состояния процесса обработки и др. Для данных станков характерны повышенные критерии работоспособности: их геометрическая точность, жесткость, виброустойчивость, износостойкость, теплостойкость и прочность. Также следует учитывать то, что МЦС с ЧПУ является сложным и дорогостоящим оборудованием и вследствие этого проблема его эффективной эксплуатации является актуальной для любого машиностроительного предприятия.

Большинство отечественных машиностроительных предприятий используют не новое оборудование, а станки со значительным сроком службы. Это приводит к тому, что в процессе эксплуатации, а тем более при длительном сроке, все детали станка изнашиваются, появляются зазоры, которые в свою очередь снижают жесткость узлов и всего станка в целом. Результатом всего этого является снижение точностных характеристик станка в процессе обработки деталей.

Кроме износа станков на возникновение погрешности обработки оказывают свое влияние тепловые и упругие деформации, которые приводят к смещению узлов станка относительно их базового положения и, следовательно, к снижению их точности. Именно поэтому в настоящее время важной задачей является вопрос сохранения работоспособного состояния и высоких точностных характеристик МЦС с ЧПУ в процессе их эксплуатации, прогнозирование изменения данного состояния во время работы.

1. Общие положения. Поддержание МЦС с ЧПУ в работоспособном состоянии в течение как можно более длительного времени или требуемого промежутка времени (времени между двумя переналадками станка) характеризуется технологической надежностью.

Технологическая надежность станка с ЧПУ — свойство станка

обеспечивать в течение требуемого промежутка времени выполнение обусловленных его назначением технологических операций при изготовлении деталей с показателями качества, установленными нормативно-технической документацией.

Событие, заключающееся в выходе любого из заданных показателей качества обработки за установленные пределы, считается технологическим отказом.

Изменение МЦС с ЧПУ качества обработки при эксплуатации происходит из-за действия различных процессов: вибраций, тепловых деформаций станка, износа сопрягаемых поверхностей, исчезновения или искажения сигналов при прохождении их по каналам системы управления и др. Эти процессы являются, как правило, случайными, поэтому технологические отказы, как следствие процессов, имеют дисперсию и подчиняются закономерностям для случайных событий. По скорости протекания процессы можно подразделить на три основные группы: быстро протекающие; протекающие со средней скоростью; медленно протекающие [1].

Основными показателями технологической надежности МЦС с ЧПУ, как и другого технологического оборудования, являются количественные показатели [2]: $P(t)$ – вероятность безотказной работы станка по точности обработки за межналадочный период $T_{М.Н.}$ (регламентированный период работы станка с МЦС ЧПУ до его подналадки); δ_T – резерв (запас) станка по выходному параметру; K_T – запас надежности по выходному параметру; γ_T – скорость изменения резерва станка по выходному параметру; χ_T – скорость изменения коэффициента резерва станка по выходному параметру K_T (скорость изменения запаса надежности) и T_P – ресурс станка по выходному параметру – наработка в часах до потери точности обработки станком по любому из параметров качества (точности) обработки.

Показатель $P(t)$ – вероятность того, что в интервале времени $t = T_{М.Н.}$ не возникает отказа, связанного с точностью обработки, из-за станка или системы управления не всегда является достаточным для оценки технологической надежности. Так как при наличии резерва станка δ_T по выходному параметру значение показателя $P(t) \rightarrow 1$, то технологическую надежность необходимо характеризовать запасом надежности. Коэффициент K_T оценивает потенциальную возможность станка по сохранению работоспособности, при $K_T = 1$ наступает технологический отказ. Значения показателей δ_T , K_T , $P(t)$ при условии, когда значения параметров состояния распределены по нормальному закону, будут равны:

$$\delta_T = \delta - \sum \Delta_i - K_P \sqrt{\sum \sigma_i^2}, \quad (1)$$

где $\sum \Delta_i$ – суммарное значение систематических составляющих погрешностей, формирующих выходной параметр;

σ_i – значения средних квадратических отклонений погрешностей, формирующих выходной параметр;

K_P – квантиль нормального распределения;

Горбунов Виктор Петрович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Рудюк Александр Николаевич, магистр технических наук, инженер-конструктор ЧУМП «КОМПО».

δ – допуск на выходной параметр.

$$K_T = \frac{\delta}{\delta - \delta_T} \quad (2)$$

$$P(t = T_{MH}) = \Phi \left\{ \frac{\delta - \sum \Delta_i}{\sqrt{\sum \sigma_i^2}} \right\}, \quad (3)$$

где Φ – функция Лапласа ($0,5 \leq \Phi \leq 1$).

Доля погрешности обработки, вносимая станком с ЧПУ, должна быть меньше допуска на данный параметр, так как необходим запас на погрешности программы управления, приспособления, инструмента, заготовки.

Для количественной оценки степени влияния систематических и случайных составляющих выходного параметра МЦС с ЧПУ в дополнении к основным показателям были введены дополнительные частные показатели: K_1, K_2, K_3 [4].

Коэффициент K_1 характеризует долю неиспользованного резерва выходного параметра станка с ЧПУ, в пределах которого не наступает отказ по параметру:

$$K_1 = \frac{\delta_T}{\delta} \quad (4)$$

Коэффициент K_2 характеризует долю, которую в поле допуска δ на выходной параметр занимают случайные составляющие погрешности:

$$K_2 = \frac{K_P \cdot \sqrt{\sum \sigma_i^2}}{\delta} \quad (5)$$

Коэффициент K_3 характеризует долю, которую в поле допуска δ на выходной параметр занимают систематические составляющие погрешности:

$$K_3 = \frac{\sum \Delta_i}{\delta} \quad (6)$$

Тогда запас надежности K_T , выраженный через коэффициенты K_1, K_2, K_3 , равен:

$$K_T = 1/(K_2 + K_3) \text{ или } K_T = 1/(1 - K_1) \quad (7)$$

Разделив уравнение (1) на величину δ , получим величину показателя K_1 , выраженную через показатели K_2 и K_3 :

$$K_1 = 1 - K_2 - K_3 \quad (8)$$

При этом область существования коэффициентов K_1, K_2, K_3 будет равна:

$$0 \leq K_3 \leq 1, \quad 0 \leq K_2 \leq 1, \quad -1 \leq K_1 \leq 1.$$

Показатели K_3 и K_2 должны иметь между собой следующие соотношения:

$$K_3 \geq K_2, \text{ то есть } K_3/K_2 \geq 1.$$

Тогда основные показатели технологической надежности $P(t)$ и K_T , выраженные через K_1, K_2, K_3 равны:

$$P(t = T_{MH}) = \Phi \left\{ \frac{K_1 \cdot K_P}{K_2} + K_P \right\} = \Phi \left\{ \frac{(1 - K_3) \cdot K_P}{1 - K_1 - K_3} \right\}, \quad (9)$$

$$K_T = \frac{1}{K_2 + K_3} = \frac{1}{1 - K_1} \quad (10)$$

Значения K_T и $P(t)$ могут быть получены различными сочетаниями K_2 и K_3 из области их существования. В свою очередь K_1 может определяться согласно формуле (8) по заданным показателям K_2 и K_3 .

На рис. 1 показана область существования показателя $P(t)$ при различных сочетаниях показателей K_2 и K_3 .

Например, для конкретных значений $K_3=0,4$ и $K_2=0,33$ через точку А в плоскости существования данных показателей и точку А₁, лежащую на поверхности, характеризующую область возможного существ-

ования $P(t)$, определяется искомое значение $P_A(t)=0,96$. Точно так же по известным значениям $P(t)$, δ , требуемому ресурсу T_p через соотношение K_1, K_2, K_3 можно назначать рациональные соотношения параметров настройки рабочих органов станка, что позволяет повысить уровень технологической надежности МЦС с ЧПУ.

Таким образом, введение показателей K_1, K_2 и K_3 позволяет выбирать рациональное соотношение между систематическими и случайными составляющими погрешностями выходного параметра, исходя из требуемой точности, условий эксплуатации и возможности коррекции систематических составляющих погрешностей МЦС с ЧПУ.

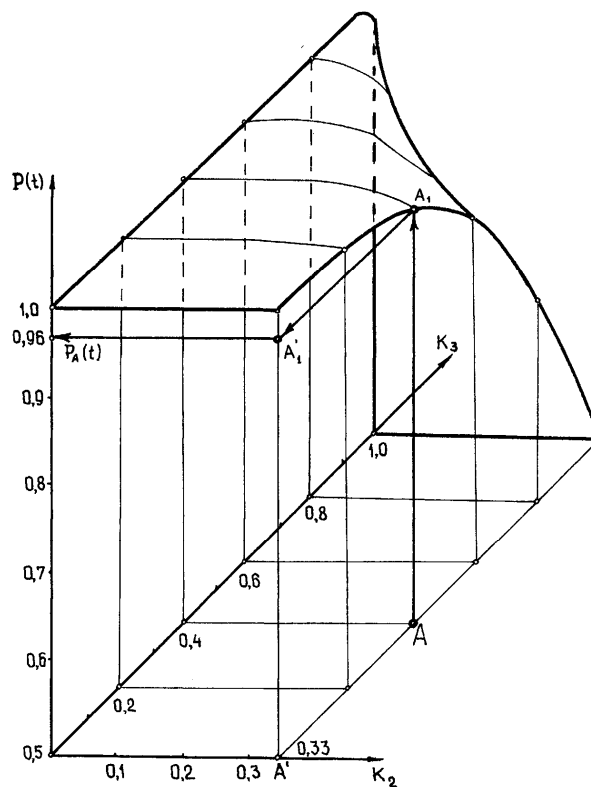


Рис. 1. Взаимосвязь показателей $P(t), K_2, K_3$

2. Методика испытаний. Прогнозирование технологической надежности станков, в частности МЦС с ЧПУ, является экономически эффективным, так как, во-первых, сократятся затраты времени на испытание опытных образцов, во-вторых, будет более рациональным использование потенциальной долговечности изделия в результате правильного построения системы ремонта и эксплуатации, в-третьих, возможен еще на стадии проектирования выбор оптимального, с точки зрения надежности, конструктивного решения.

Основной задачей прогнозирования будет оценка работоспособного состояния с определением ресурса по данному параметру ($t = T_p$ – гамма процентный ресурс) по результатам диагностирования станка в предшествующие моменты времени.

Для высоконадежных систем, к которым относятся МЦС с ЧПУ, основной характеристикой, как показано выше, является запас надежности (для рассмотрения выходного параметра при точной координатной обработке – запас по точности). При этом ресурс станка будет определяться не только значением этого запаса, но и, главное, скоростью изменения коэффициента $K_T(t)$ во времени.

На решение задачи прогнозирования МЦС с ЧПУ влияют следующие факторы: состояние станка как объекта прогнозирования; характер и вид протекающих при его эксплуатации процессов; вид принятой модели и алгоритм прогнозирования; вид прогноза и способ его реализации.

Оценка состояния станка предполагает анализ его технического состояния, изучение процессов, характеризующих изменение выходного параметра.

Таблица 1. Показатели технологической надежности МЦС в начальном состоянии

Направление позиционирования	$\Delta_{\text{поз}}$, мкм	K_2	K_3	K_T	$P(t)$
Положительное	14,4	0,2	0,54	1,38	1,0
Отрицательное	12,6	0,18	0,55	1,4	1,0
Двухстороннее	16,5	0,23	0,55	1,28	1,0

Таблица 2. Изменение показателей технологической надежности $P(t)$ и K_T за межналадочный период

Вылет ползуна	Показатели надежности	Время работы станка t , в мин.									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	
$Z_1=50$ мм	$P(t)$	1	0,75	1	1	1	1	1	1	1	1
	K_T	2,72	1,10	2,72	10,28	6,61	6,61	4,87	3,19	2,37	
$Z_2=100$ мм	$P(t)$	1	1	1	0,72	0,61	0,87	0,99	0,98	0,995	
	K_T	2,72	1,57	1,341	0,96	0,96	0,93	1,07	1,17	1,14	
$Z_3=150$ мм	$P(t)$	1	0,93	0,66	0,5	0,5	0,5	0,54	0,62	0,64	
	K_T	2,72	1,04	0,98	0,81	0,81	0,79	0,85	0,89	0,91	

При этом выбираются те показатели, (характеристики или параметры точности станка), которые являются наиболее информативными для описания процесса изменения состояния.

Для прогнозирования работоспособного состояния МЦС с ЧПУ можно предложить следующий порядок:

1. На основании анализа обрабатываемого на станке изделия (точность обрабатываемых поверхностей, режимы резания, нагрузки, величины перемещений рабочих органов и др.) устанавливаются выходные параметры точности МЦС с ЧПУ, которые определяют его работоспособное состояние.
2. Для каждого из выходных параметров станка устанавливается их предельное состояние, которое определяется допуском δ и оценивается рассеивание σ_i относительно среднего значения. При оценке начального состояния МЦС с ЧПУ и в дальнейшем необходимо базироваться на разработанную проф. А.С. Прониковым физико-вероятностную модель формирования параметрического отказа [2].
3. Оценка изменения выходного параметра в течение межналадочного периода $T_{\text{М.Н.}}$. Для оценки скорости изменения выходного параметра γ_X надо установить ее аналитическую зависимость от скоростей изменения состояния отдельных элементов станка. Это определяется либо расчетным путем по полученным данным при эксплуатации аналогичного оборудования, либо получением информации путем кратковременных испытаний станка.
4. Расчет вероятности безотказной работы и запаса надежности начального состояния по каждому из параметров станка и, при знании закона распределения во времени выходного параметра, в течение требуемого ресурса за межналадочный период работы.
5. Прогнозирование надежности для принятых выше условий методом статистического моделирования по формулам, наиболее подходящих для конкретных случаев [3].

Для современных МЦС с ЧПУ возможна оценка состояния станка по диагностическому сигналу с последующей его обработкой системой управления [5]. Например, контроль фактического положения рабочего органа (траектории его движения или позиционного координатного перемещения), фиксация его от начала до конца работы осуществляется эксплуатационной системой диагностирования. Диагностирование позволяет распознавать текущее состояние станка, планировать методы компенсации, управления и технического обслуживания станка, прогнозировать наступление предельного состояния, когда $\delta_T=0$, а $K_T=1$.

Предложенная методика оценки и прогнозирования показателей технологической надежности была апробирована на примере исследования МЦС с ЧПУ модели МС12-250.

3. Результаты исследования и обсуждение. Оценка состояния исследуемого станка и прогнозирование показателей технологической надежности проводились в два этапа.

1. Экспериментальное исследование и определение баланса составляющих погрешностей контролируемого выходного параметра в начальном состоянии и анализ возможности получения требуемой точности обработки на исследуемом станке.
2. Расчет основных показателей технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ $P(t)$ и K_T на основании полученного при испытании баланса составляющих погрешностей контролируемого выходного параметра и прогнозирование их изменения за межналадочный период.

В качестве выходного параметра МЦС с ЧПУ принят показатель точности координатных перемещений стола станка вдоль оси координат X, так как лимитирующим обрабатываемым размером является размер межосевого расстояния 80 ± 7 конкретных деталей (сопрягаемых деталей «Фланец» и «Корпус») с допуском 36 мкм. Погрешности установочных координатных перемещений, рассмотренные вдоль направления перемещения, являются погрешностью позиционирования рабочего органа $\Delta_{\text{поз}}$ [4]. Для расчета составляющих погрешности позиционирования, их графического изображения вдоль направления перемещения в заданных точках и последующего расчета показателей надежности в зависимости от допуска обработки составлена программа. Результаты расчетов для начального состояния станка приведены в таблице 1.

Значения показателей технологической надежности указывают на то, что в начальном состоянии станком МС12-250 обеспечивается точность обработки принятого размера при всех условиях позиционирования.

За межналадочный период позиционные ошибки расположения оси режущего инструмента, в основном, будут обусловлены тепловыми деформациями базовых элементов станка: стенок корпуса, несущих опоры шпинделя, отклонениями от вертикального положения стойки и т.п.

В таблице 2 представлены изменения показателей $P(t)$ и K_T за время работы станка $T=80$ мин (времени стабилизации положения оси режущего инструмента от тепловых деформаций базовых деталей). Величины смещений оси шпинделя рассмотрены для трех вариантов вылета ползуна, что определяется геометрическими параметрами используемого инструмента и при рабочей частоте вращения шпинделя $n=1000 \text{ мин}^{-1}$. При вычислении показателей технологической надежности принимался экспоненциальный (классический или знакпеременный) закон изменения положения оси шпинделя, полученный на основании кратковременных ускоренных испытаний МЦС по оценке тепловых деформаций [5].

Анализ показателей указывает на то, что при минимальном вылете ползуна ($Z=50$ мм) вероятность появления отказа отсутствует. При вылете ползуна 50...100 мм возможно появление брака в период времени от 20 до 50 минут, а при $Z=150$ мм и более обработка с требуемой точностью невозможна. Представленные расчетные данные можно использовать для прогнозирования поведения станка в зависимости от режима работы станка, величин установочных пере-

мещений и требуемой точности обработки через основные показатели технологической надежности. Для повышения уровня технологической надежности МЦС с ЧПУ в разработанной программе предлагается учитывать влияние систематических составляющих погрешностей позиционирования при оценке начального состояния путем коррекции положения осей координат в плоскости позиционирования. Так, для рассматриваемого лимитирующего размера 80 мм величина коррекции составляет 14,7 мкм (при двухстороннем позиционировании), что позволяет увеличить точность обработки до 6 качества (допуск 22 мкм). Также возможна автоматическая коррекция во время обработки положения инструмента по максимальному значению принятого диагностического сигнала.

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для выбора рациональных условий эксплуатации МЦС с ЧПУ и принятия оптимального конструктивного решения при проектировании необходимо использовать, наряду с основными показателями технологической надежности $P(t)$ и K_T , дополнительные показатели K_1, K_2, K_3 , которые определяют соотношения между систематическими и случайными составляющими погрешности выходного параметра.
2. Рассчитанные для рассматриваемого станка показатели технологической надежности позволяют определить границы области существования выходного параметра для различных требований точности обработки и режимов работы МЦС с ЧПУ.

3. Прогнозирование показателей технологической надежности МЦС с ЧПУ позволяет решить задачу увеличения ресурса станка по точности обработки, запаса надежности за счет коррекции устройством управления запрограммированного положения рабочего органа.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник. В 3-х т. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов [и др.]: под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – Т. 1. – 444 с.
3. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 9 – 352 с.
4. Горбунов, В.П. Оценка технологической надежности многоцелевого станка по параметру точности координатных перемещений / В.П. Горбунов, В.Ф. Григорьев // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2000. – № 4(4): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – С. 8–11.
5. Горбунов, В.П. Диагностирование тепловых деформаций многоцелевого станка с ЧПУ / В.П. Горбунов, В.Ф. Григорьев, А.Н. Рудюк // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – №4(52): Машиностроение. – С. 8–11.

Материал поступил в редакцию 17.09.09

HARBUNOU V.P., RUDIYOUK A.N. Forecasting of indexes of technological reliability of a workcenter from the numerical control on an output parameter

Forecasting of indicators of technological reliability of the multi-purpose machine tool with numerical programmed control on target parametre.

Results of an estimation of an initial condition of the multi-purpose machine tool with CNC on target parametre – accuracy of positioning and its change for an operating time are resulted. The calculated indicators of technological reliability allow to define area of existence of target parametre for various requirements of accuracy of processing, a machine tool operating mode and as give the chance to increase a machine tool resource on accuracy.

УДК 693.22.004.18

Григорьев В.Ф., Дакало Ю.А.

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРАФОВ

Введение. Повышение уровня качества и конкурентоспособности продукции машиностроения требует её непрерывного совершенствования и частой смены объектов производства. Это ведёт к увеличению объёмов и сложности проектных и конструкторских работ, связанных как с созданием изделия, так и с технической подготовкой его производства. При этом нежелательно увеличение сроков разработки и внедрения новой техники. Одним из направлений сокращения сроков освоения и улучшения качества выпускаемых машин является применение в практике конструирования расчётных принципов назначения качественных показателей изделий. Поэтому важной задачей, решаемой в процессе проектирования машин, является установление связей между геометрическими характеристиками деталей машины и её служебным назначением, а также разработка норм точности этих показателей.

Конструктивные и технологические особенности машины зависят от методов координации поверхностей, т.е. правильной расстановки размеров, а также выбора значений и методов задания их допусков. Благодаря рациональному заданию размеров и допусков, не изменяя конструкцию, можно не только значительно повысить точность и взаимозаменяемость изделия, но и уменьшить трудоёмкость его изготовления.

В основе размерной отработки конструкции лежит анализ размерных связей: вначале между деталями механизмов и узлов, а затем внутри каждой детали.

Выявление конструкторских размерных цепей – сложная, трудоёмкая, неформальная задача. Применение методики размерного анализа упрощает процесс выявления размерных цепей, позволяет решать задачи обеспечения качества сложных изделий машиностроения и открывает путь к его алгоритмизации.

Методика исследований. Решение линейно-угловых размерных цепей возможно в двух вариантах [1, 2]: можно рассматривать либо угловые размеры, либо линейные размеры в двух координатных направлениях. В случае если большинство размеров деталей задано в линейном виде, размерный анализ целесообразнее производить в двух координатных направлениях. Такую плоскую размерную цепь решают путем её приведения к двум линейным цепям путём замены составляющих звеньев их проекциями на две взаимно перпендикулярных оси. При этом угловые размеры выражаются через линейные с помощью тригонометрических функций.

Григорьев Владимир Фёдорович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Дакало Юрий Александрович, магистр технических наук, ассистент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.