

УДК 621.891

DOI 10.18698/0536-1044-2016-3-17-23

# Математические и экспериментальные методы исследования металлорежущих станков при восстановлении направляющих с помощью полимера

В.Б. Струтинский<sup>1</sup>, Т.Н. Карпенко<sup>2</sup>, Е.А. Ищенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», 03056, Киев, Украина, пр-т Победы, д. 37

<sup>2</sup> Приазовский государственный технический университет (ПТГУ), 87500, Мариуполь, Украина, пр-т Metallургов, д. 54

## Mathematical and Experimental Methods of Studying Metal Cutting Machine Tools when Carriage Guides are Rebuilt Using Polymeric Materials

V.B. Strutinskiy<sup>1</sup>, T.N. Karpenko<sup>2</sup>, E.A. Ishchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Ukraine — Kiev Polytechnic Institute, 03056, Kiev, Ukraine, Pobeda Prospekt, Bldg. 37

<sup>2</sup> Pryazovskiy State Technical University (PSTU), 87500, Mariupol, Ukraine, Metallurg Prospekt, Bldg. 54



e-mail: kvm\_mmi@mail.ru, anyolady@i.ua



Металлорежущие станки являются одним из основных видов оборудования в машиностроении. Однако пары трения в станках давно не претерпевали существенных изменений, поэтому проблема восстановления изношенных направляющих по-прежнему актуальна. Предложен способ, позволяющий решить эту проблему с помощью современных полимерных материалов. Для успешного внедрения полимерных материалов в практику восстановления пар трения станков необходимо оценить триботехнические характеристики таких материалов. На производстве такую задачу решить сложно, поэтому исследование проведено в лабораторных условиях. Выполнено восстановление направляющих на крестовом суппорте токарного автоматического комплекса ПАБ 130. На специально созданном экспериментальном стенде с использованием аналого-цифрового преобразователя и компьютера проведены измерения силы перемещения суппорта с последующим определением коэффициента трения. Исследование показало, что такой способ обеспечивает восстановленным изделиям хорошие триботехнические показатели и поэтому является перспективным.

**Ключевые слова:** станок, суппорт, направляющие суппорта, коэффициент трения, полимерный материал «Моглайс», фрикционные автоколебания.



Metal cutting machine tools constitute the main type of equipment in mechanical engineering. However, friction pairs in machine tools have not undergone any significant modifications for a long time, and the problem of rebuilding worn guides is still relevant. This article describes a method that can solve this problem with the help of modern polymeric materials. To successfully implement the use of polymeric materials in rebuilding friction pairs in machine tools, it is necessary to evaluate tribotechnical characteristics of such materials. As this evaluation is difficult to perform in manufacturing, the study was carried out in laboratory conditions. The compound rest guides of the PAB130 automated

lathe were rebuilt. The carriage displacement force was measured and the friction factor was determined on a specially designed test stand using analog-digital converter and computer. The research has shown that this method provides good tribotechnical indicators to the rebuilt surfaces and therefore, is considered promising.

**Keywords:** machine tool, carriage, carriage guides, friction factor, Moglice polymeric material, frictional auto-oscillations.

В последние годы в станкостроении все большее применение находят полимерные материалы, которые наносятся на направляющие станины или каретки и, образуя пары трения чугун — полимер, позволяют решить несколько задач [1, 2]. Во-первых, появляется возможность сформировать идеальную контактную пару, поскольку плоскость полимерного покрытия создается до полимеризации ответной шлифованной поверхностью чугунных направляющих. Во-вторых, учитывая особенности полимерного слоя, интенсивность износа чугунных направляющих существенно снижается, что повышает межремонтный период этого оборудования. Однако отдельные аспекты применения подобных композитов в станках остаются неизученными и требуют новых теоретических и экспериментальных исследований.

К таким аспектам относится знание границ скоростей скольжения в этой паре трения, при которой начинает происходить скачкообразное движение суппорта, а следовательно, и появление фрикционных автоколебаний, что неприемлемо для высокоточных станков.

Цель работы — теоретическое и экспериментальное исследования процесса трения пары чугун — полимер при восстановлении направляющих скольжения.

В лаборатории кафедры «Конструирование станков и машин» Национального технического университета Украины «Киевского политехнического института» проведено восстановление направляющих на крестовом суппорте токарного автоматического комплекса ПАБ 130 с помощью материала «моглайс Р» немецкой фирмы «Диамант металлпластик ГМБХ» с последующим экспериментальным исследованием коэффици-

ента трения в этой паре и оценкой возможных критических значений скорости прерывистости скачкообразного движения суппорта.

Кинематическая схема экспериментальной установки после восстановления направляющих суппорта токарного автоматического комплекса ПАБ 130 с помощью немецкого материала «Моглайс Р Hart» по технологии, изложенной в работе [3], показана на рис. 1. Установка состояла из пары винт-гайка 5, которая приводилась во вращение электродвигателем 8 через двухскоростную коробку передач 7 и муфту 6. Гайка была размещена в специально изготовленном металлическом корпусе, который с помощью болтов крепился к двум смонтированным на суппорте упругим балкам 4, на которые устанавливали тензометрические датчики. Тензорезисторы (каждый сопротивлением  $R = 200$  Ом) были соединены в мостовую схему.

При включении привода вращения винта гайка давила на балки, деформируя их и передавая усилие на суппорт, который перемещался в диапазоне скоростей  $0,0005 \dots 0,075$  м/с. Сигнал с тензодатчиков поступал на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) через усилитель сигнала, а затем — на компьютер.

Построив тарировочный график, находили величину тарировочного коэффициента, с помощью которого в дальнейшем определяли силу перемещения каретки.

Сигнал, передавался через АЦП, записывался на компьютер, затем полученные данные обрабатывались в программе Паскаль и записывались в виде таблицы. Результаты обрабатывались в программе MathCAD.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента трения от скорости суппорта. Анализ рис. 2 позволил установить, что в диапазоне скоростей подачи  $0,0005 \dots 0,004$  м/с появляется прерывистое движение суппорта, что приводит к заметному росту коэффициента трения со среднего значения  $0,05$  при скорости в диапазоне  $0,004 \dots 0,0067$  м/с до значения  $0,14 \dots 0,17$ .

При построении динамической модели фрагмента станка «суппорт — привод» механическая система, состоящая из многих распреде-

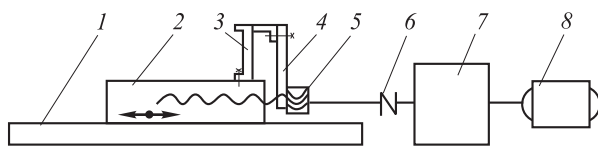


Рис. 1. Кинематическая схема установки:  
1 — направляющие станины; 2 — суппорт; 3 — стойка;  
4 — упругая балка; 5 — пара винт-гайка; 6 — муфта;  
7 — коробка передач; 8 — электродвигатель

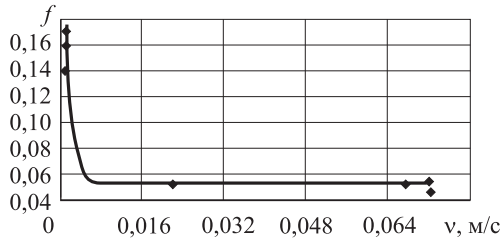


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения  $f$  от скорости суппорта  $v$

ленных масс, обладающих упругими и демпфирующими свойствами, заменена вязкоупругой моделью с приведенной массой, удерживаемой связью с эквивалентными коэффициентами жесткости и диссипации. Динамическая система состояла (см. рис. 1) из суппорта, двух упругих балок, ходового винта — гайки и муфты. Учитывались следующие параметры:

- масса суппорта  $m_c$ , осевые моменты инерции винта  $I_b$  и муфты  $I_m$ ;
- упругая продольная деформация винта с коэффициентом линейной жесткости  $c_n$ ;
- упругая изгибная деформация двух балок с коэффициентом жесткости  $c_{изг}$ ;
- упругая крутильная деформация муфты с коэффициентом крутильной жесткости  $c_{кр}$ .

В качестве звена приведения рассматривался суппорт с координатой  $x(t)$ , характеризующей его положение относительно неподвижного наблюдателя. Угол поворота винта связан с координатой  $x$  через шаг винта  $h$  следующей зависимостью:

$$\varphi = \delta x, \tag{1}$$

где

$$\delta = 2\pi/h. \tag{2}$$

Используя тезисы об эквивалентности кинетической  $T$  и потенциальной  $\Pi$  энергий упругих деформаций изучаемой механической системы и динамической модели, получим приведенную массу

$$m = m_c + (I_b + I_m) \delta^2 \tag{3}$$

и приведенный коэффициент жесткости

$$c = c_n + c_{изг} + c_{кр} \delta^2. \tag{4}$$

Определим значения коэффициентов жесткости упругих элементов изучаемого объекта. Винт в соединении винт — гайка имеет деформацию растяжения — сжатия, поэтому коэффициент линейной жесткости винта диаметром  $d_b$  и длиной  $l_b$  с модулем упругости  $E$  имеет вид

$$c_n = \frac{E \pi d_b^2}{4 l_b}. \tag{5}$$

Жестко заземленные упругие балки прямоугольного сечения  $b \times h$  длиной  $l_6$  расположены параллельно, поэтому коэффициент изгибной жесткости двух балок с модулем упругости  $E$  определим по выражению

$$c_{изг} = \frac{E b h^3}{2 l_6^2}. \tag{6}$$

Крутильная жесткость втулочно-пальцевой муфты для диаметра вала  $d$  с резиновым уплотнителем, коэффициент динамичности которого  $K_d$ , имеет вид [4]

$$c_{кр} = \frac{K_d d^3 \sqrt{H^3}}{1,7}, \tag{7}$$

где  $H$  — твердость резины по Шору.

Схема упрощенной расчетной динамической модели приведена на рис. 3, где  $F_n$ ,  $F_{дв}$  — силы трения покоя и движения соответственно. На массу  $m$  наложена связь с коэффициентом жесткости  $c$  и коэффициентом линейного сопротивления  $b$ . Привод движется с постоянной скоростью  $v_0 = \omega_0 / \delta$ . Коэффициенты трения покоя  $f_n$  и движения  $f_{дв}$  известны.

В работах [5–8] показано, что необходимым условием возникновения фрикционных автоколебаний в станках является наличие «падающего» участка графической зависимости коэффициента трения от относительной скорости скольжения суппорта. Часто применяют упрощенную характеристику силы трения  $F_T$  (рис. 4), которая принята и в данной работе.

Обобщенный коэффициент сопротивления  $b$  при малом коэффициенте рассеивания энергии  $\psi$  приближенно определяют по формуле

$$b = \frac{\psi \sqrt{c m}}{2\pi}. \tag{8}$$

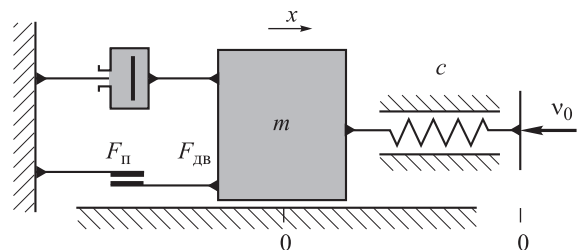
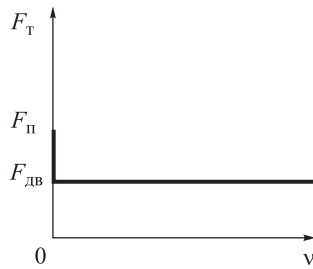


Рис. 3. Упрощенная расчетная схема

Рис. 4. Упрощенная характеристика силы трения  $F_T$ .

Для составления дифференциального уравнения движения объекта применим уравнение Лагранжа второго рода. Используя в качестве обобщенной координаты  $x(t)$ , получим

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = - \frac{\partial \Pi}{\partial x} + Q_x^{(c)} + Q_x^{(тр)}, \quad (9)$$

где  $Q_x^{(c)}$ ,  $Q_x^{(тр)}$  — обобщенная сила сопротивления и трения соответственно.

Обобщенная сила сопротивления

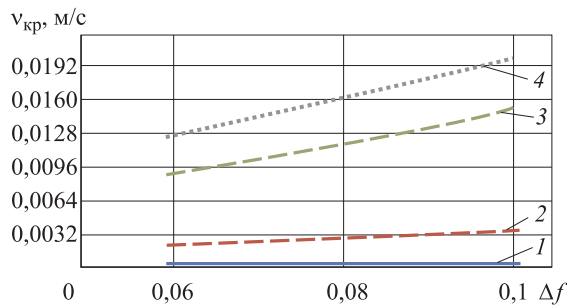
$$Q_x^{(c)} = -b\dot{x}. \quad (10)$$

Если скорость  $v_0$  мала, силы трения покоя  $F_П$  достаточно для того, чтобы масса  $m$  оставалась в покое. Но привод продолжает движение влево до тех пор, пока упругая сила пружины не будет равна  $F_П$ . Сила трения движения  $F_ДВ$  окажется меньше, чем упругая сила, поэтому произойдет «срыв» тела с места и на массу  $m$  в первый момент действует сила [9]:

$$F = (f_П - f_ДВ) m c. \quad (11)$$

За начало отсчета координаты и времени принимаем момент «срыва» тела. Тогда обобщенная сила трения

$$Q_x^{(тр)} = \Delta F. \quad (12)$$



Определив производные от кинетической  $T$  и потенциальной  $\Pi$  энергий, которые входят в уравнение (9), и, обозначив  $c/m = k^2$ ,  $b/m = 2n$ , получим дифференциальное уравнение движения суппорта:

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + k^2x = \frac{\Delta F}{m} + \frac{c_{кр}\omega_0\delta t}{m}. \quad (13)$$

Для дальнейших исследований введем новую переменную  $x_\Delta$ , которая определяет относительное отклонение суппорта:

$$x_\Delta = x - v_0 t. \quad (14)$$

В случае малого сопротивления, если  $n < k$ , имеем при начальных условиях

$$x|_{t=0} = 0, \quad \dot{x}|_{t=0} = -v_0$$

кинематическое уравнение относительного движения суппорта:

$$x_\Delta = A + v_0(\bar{c} - 1)t - e^{-nt} \left[ A \cos k_1 t + \left( \frac{An}{k_1} + \bar{c} \frac{v_0}{k_1} \right) \sin k_1 t \right], \quad (15)$$

где

$$A = \frac{\Delta F}{c} - \frac{2n}{k^2} \bar{c} v_0;$$

$$\bar{c} = \frac{c_{кр}\sigma^2}{c};$$

$$k_1 = \sqrt{k^2 - n^2}.$$

С помощью уравнения  $x_\Delta(t)$  можно получить скорость и ускорение суппорта в любой момент времени. Приравняв к нулю скорость  $\dot{x}_\Delta$  и ускорение  $\ddot{x}_\Delta$  суппорта, определим, в какой первый момент времени  $t_1$  и при какой критической скорости  $v_{кр}$  произойдет остановка суппорта.

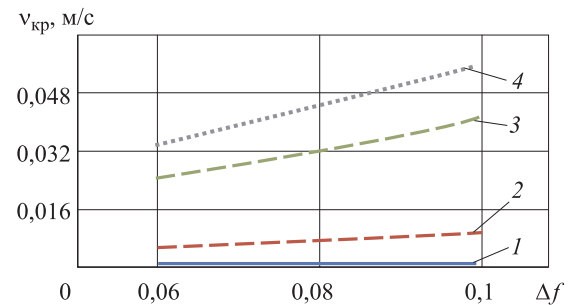


Рис. 5. Зависимости критической скорости  $v_{кр}$  от разности коэффициентов трения  $\Delta f$  без упругого элемента (а) и при его наличии (б):  
1 —  $\psi = 0,4$ ; 2 —  $\psi = 0,5$ ; 3 —  $\psi = 0,6$ ; 4 —  $\psi = 0,7$

Система трансцендентных уравнений имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\Delta F}{m} \cos k_1 t_1 - \left( \frac{\Delta F}{m} \frac{n}{k_1} - \frac{k^2}{k_1} v_{кр} \bar{c} \right) \sin k_1 t_1 = 0; \\ v_{кр} \left[ (\bar{c} - 1) e^{n t_1} - c \cos k_1 t_1 - \frac{n \bar{c}}{k_1} \sin k_1 t_1 \right] + \\ + \frac{\Delta F}{m k_1} \sin k_1 t_1 = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Эта система уравнений при известных инерционных, конструктивных и жесткостных параметрах фрагмента станка «суппорт — привод» позволяет определить сочетания характеристик любой пары трения (разности коэффициентов трения  $\Delta f = f_{п} - f_{дв}$  и коэффициента рассеяния энергии  $\psi$ ), которые обеспечат плавное движение суппорта.

Численный анализ задачи выполнялся с помощью программного пакета MathCAD. Результаты анализа для экспериментальной установки, имеющей в конструкции дополнительный упругий элемент, приведены на рис. 5 и свидетельствуют о том, что значения критических скоростей при наличии упругого элемента гораздо больше, чем для такой же механической системы с меньшим коэффициентом жесткости.

Расчетные формулы, которые совпали с результатами эксперимента для значений критических скоростей, меньших 0,004 м/с (см. рис. 2), позволяют получить в первом приближении коэффициент рассеяния энергии для пары трения чугун — полимер с разностью коэффициентов трения  $\Delta f = 0,06$ , равный  $\psi = 0,38$  [10]. Приняв это значение  $\psi$  для реального металлорежущего станка (без дополнительных упругих элементов), решим систему уравнений (16) и получим критическую скорость  $v_{кр} = 0,0016$  м/с [11].

## Выводы

1. Теоретический анализ и экспериментальное исследование позволили определить границы критических скоростей для станков, в которых применен полимерный материал в качестве покрытия направляющих, т. е. скоростей, при которых возможно появление прерывистого скачкообразного движения суппорта.

2. Результаты проведенных исследований можно использовать как при принятии решений о вероятных путях восстановления работоспособности станка с изношенными направляющими, так и при проектировании и изготовлении новых конструкций металлорежущего оборудования.

## Литература

- [1] Ищенко А.А. Новые технологии восстановления направляющих металлообрабатывающих станков. *Оборудование и инструмент для профессионалов*, 2003, № 2, с. 26–27.
- [2] Slawomir Szulewski. Wykonanie lub regeneracja lozyska slizgowego obrabiarki. *Technologie*, 1995, № 5–6, с. 14–17.
- [3] Ищенко А.А., Радионенко А.В., Ищенко Е.А. Исследование применения полимерного материала Моглайс для восстановления направляющих поверхностей салазок суппортов металлорежущих станков. *Проблемы трения и износа*, 2014, № 1(62), с. 23–29.
- [4] Михайлов О.П. *Динамика электромеханического привода металлорежущих станков*. Москва, Машиностроение, 1989. 223 с.
- [5] Ветюков М.М. Устойчивость ползуна на плоскости при действии сил сухого некулонового трения. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 1992, № 3, с. 40–41.
- [6] Платовских М.Ю. *Фрикционные автоколебания и вибрационное перемещение в системах с одной и с двумя степенями свободы*. Дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, СПб. гос. горный институт им. Г.В. Плеханова, 1995. 137 с.
- [7] Ветюков М.М., Доброславский С.В., Нагаев Р.Ф. Автоколебания в системе с характеристикой сухого трения наследственного типа. *Известия АН СССР. Механика твердого тела*, 1990, №1, с. 23–28.
- [8] Шамберов В.Н. Фрикционные автоколебания в механических системах. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, 2010, т. 53, № 2, с. 24–28.
- [9] Пфейффер П. *Колебания упругих тел*. Москва, КомКнига, 2006. 152 с.

- [10] Шамберов В.Н. Влияние сухого трения в исполнительных механизмах автоматических систем с приводным электродвигателем на их устойчивость. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, 2004, т. 14, № 4, с. 39–45.
- [11] Струтинский В.Б., Ищенко Е.А., Гришко В.П., Воробьев Д.А. О восстановлении направляющих станков с помощью полимерного материала. *Вестник Приазовского национального технического университета*, 2015, № 30, т. 2, с. 91–97.

## References

- [1] Ishchenko A.A. Novye tekhnologii vosstanovleniia napravliaiushchikh metallobrabatyvaiushchikh stankov [New technology guides the restoration of machine tools]. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov* [Equipment and tools for professionals]. 2003, no. 2, pp. 26–27.
- [2] Slawomir Szulewski. Wykonanie lub regeneracja lozyska slizgowego obrabiarki. *Technologie*, 1995, no. 5–6, pp. 14–17.
- [3] Ishchenko A.A., Radionenko A.V., Ishchenko E.A. Issledovanie primeneniia polimernogo materiala Moglais dlia vosstanovleniia napravliaiushchikh poverkhnostei salazok supportov metallovezhushchikh stankov [Investigation of the polymer material to restore Moglays guide surfaces slide calipers machine tools]. *Problemy treniia i iznosa* [The problems of friction and wear]. 2014, no. 1(62), pp. 23–29.
- [4] Mikhailov O.P. *Dinamika elektromekhanicheskogo privoda metallovezhushchikh stankov* [Dynamics of electromechanical drive machine tools]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1989. 223 p.
- [5] Vetukov M.M. Ustoichivost' polzuna na ploskosti pri deistvii sil sukhogo nekulonovogo treniia [The stability of the slider on a plane under the influence of the Coulomb forces of dry friction]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin* [Journal of Machinery Manufacture and Reliability]. 1992, no. 3, pp. 40–41.
- [6] Platovskikh M.Iu. *Friktsionnye avtokolebaniia i vibratsionnoe peremeshchenie v sistemakh s odnoi i s dvumia stepeniami svobody*. Diss. kand. tekhn. nauk [Friction oscillations and vibratory movement in the systems with one and two degrees of freedom. Cand. tehn. sci. diss.]. St. Petersburg, 1995. 137 p.
- [7] Vetukov M.M., Dobroslavskii S.V., Nagaev R.F. Avtokolebaniia v sisteme s kharakteristikoi sukhogo treniia nasledstvennogo tipa [Self-oscillations in a system with dry friction characteristic hereditary type]. *Izvestiia AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela* [Mechanics of Solids]. 1990, no. 1, pp. 23–28.
- [8] Shamberov V.N. Friktsionnye avtokolebaniia v mekhanicheskikh sistemakh [Friction self-oscillations in mechanical system]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering]. 2010, vol. 53, no. 2, pp. 24–28.
- [9] Pfeiffer P. *Kolebaniia uprugikh tel* [Fluctuations of elastic bodies]. Moscow, KomKniga publ., 2006. 152 p.
- [10] Shamberov V.N. Vliianie sukhogo treniia v ispolnitel'nykh mekhanizmach avtomaticheskikh sistem s privodnym elektrodvigatelem na ikh ustoichivost' [Influence of dry friction in the actuator systems with automatic drive motor on their stability]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering]. 2004, vol. 14, no. 4, pp. 39–45.
- [11] Strutinskii V.B., Ishchenko E.A., Grishko V.P., Vorob'ev D.A. O vosstanovlenii napravliaiushchikh stankov s pomoshch'iu polimernogo materiala [Machine guides restoration by using a polymeric material]. *Vestnik Priazovskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta* [Journal of Azov National Technical University]. 2015, no. 30, vol. 2, pp. 91–97.



## Информация об авторах

**СТРУТИНСКИЙ Василий Борисович** (Киев) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Конструирование станков и машин». Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (03056, Киев, Украина, пр-т Победы, д. 37, e-mail: kvm\_mmi@mail.ru).

**КАРПЕНКО Таисия Николаевна** (Мариуполь) — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика». Приазовский государственный технический университет (ПТГУ) (87500, Мариуполь, Украина, пр-т Metallургов, д. 54).

**ИЩЕНКО Елена Анатольевна** (Киев) — аспирант кафедры «Конструирование станков и машин». Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (03056, Киев, Украина, пр-т Победы, д. 37, e-mail: anyolady@i.ua).

## Information about the authors

**STRUTINSKIY Vasilii Borisovich** (Kiev) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Department, Design of Machine Tools. National Technical University of Ukraine — Kiev Polytechnic Institute (03056, Kiev, Ukraine, Pobeda Prospekt, Bldg. 37, e-mail: kvm\_mmi@mail.ru).

**KARPENKO Taisiya Nikolaevna** (Mariupol) — Candidate of Science (Physics & Math), Associate Professor, Department of Theoretical and Applied Mechanics. Pryazovskiy State Technical University (PSTU) (87500, Mariupol, Ukraine, Metallurg Prospekt, Bldg. 54).

**ISHCHENKO Elena Anatolievna** (Kiev) — Postgraduate, Design of Machine Tools Department. National Technical University of Ukraine — Kiev Polytechnic Institute (03056, Kiev, Ukraine, Pobeda Prospekt, Bldg. 37, e-mail: anyolady@i.ua).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышло в свет 2-е издание учебника  
под общей редакцией  
**А.М. Архарова и И.К. Буткевича**

### «Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты»

Во втором издании (первое — 2010 г.) приведены методы расчета и конструирования криогенных машин, безмашинных криогенераторов и криоинструментов, наиболее широко применяемых в низкотемпературной технике. Рассмотрены поршневые и лопастные машины, предназначенные для криогенерации (детандеры, криогенные газовые машины) и для циркуляции криоагента (насосы), а также криогенные аппараты, реализующие струйный, вихревой, пульсационный, волновой и магнитокалорический эффекты при получении холода. Даны расчеты и конструкции специфических криогенераторов и криоинструментов, используемых в криохирургии. Описаны процессы, которые происходят в машинах и аппаратах, работающих в двухфазной области параметров состояния криоагентов.

Содержание учебника соответствует курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Для студентов, инженеров, магистров, аспирантов и специалистов.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru