

ВИБРАЦИЯ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Е. В. Раменская, Ю. А. Филиппов, Д. В. Латюк

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: lena@kraslan.ru

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований вибрационных процессов операции растачивания заготовок из конструкционных легированных сталей. С целью активизации внедрения элементов высокой технологии в производство изделий общего машиностроения и изделий ракетно-космической техники предложена новая конструкция расточной оправки. Конструкция сборной расточной оправки снижает амплитуду вибрации вследствие проявления в ней повышенной жесткости и усиленного демпфирования поперечных и угловых колебаний. Это достигается смещением центра масс оправки к лезвию сменной твердосплавной пластинки и заполнением «утяжеленной» части оправки порошковым материалом повышенной плотности. Наличие в конструкции прокладок из мягкой и твердой резины, обеспечивая регулярную вязкость, способствует частичному ограничению плотности потока коллективизированных валентных электронов термоЭДС в процессе резания от технологической машины через режущий инструмент на заготовку или в другой ситуации в обратном направлении и стимулирует снижение сопротивления резанию. Межатомные взаимодействия в материале заготовки в процессе течения, оцениваемые величиной химической металлической связи, не превышают 90 кДж/моль. Экспериментальные исследования амплитуд вибрации и работоспособности новой расточной оправки в условиях прецизионного растачивания трубы из стали марки 30ХГСА показали снижение амплитуды виброускорения в 3 раза по сравнению с типовой конструкцией расточной оправки и улучшение шероховатости в 1,85 раза. Отдельные результаты работы используются на базовом предприятии в производстве деталей нефтеаппаратуры.

Ключевые слова: вибрация, технологические машины, растачивание, легированные стали, молекулярные связи, расточная оправка.

Vestnik SibGAU
2014, No. 4(56), P. 243–248**VIBRATION AND PRECISION OF THE DETAILS MACHINING**

E. V. Ramenskaja, Y. A. Filippov, D. V. Latuk

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: lena@kraslan.ru

The results of theoretical and experimental researches of vibration processes during boring of the constructional steels stock are stated in this paper. The new design of the boring bar is offered with the purpose of high technology introduction in manufacture of the mechanical and space engineering products. The design of assembling boring bar reduces the vibration amplitude at the expense of the increased stiffness both amplified damping of cross and angular fluctuations. It is provided with displacement of the mass centre of bar to an edge of a replaceable hard alloy metal plate and filling of the "weighted" bar part by the powder raised density material. The rubber packing (soft and hard) provides regular viscosity. It promotes partial restriction of the flow density of the itinerant valence electrons thermo-EMF during cutting from the technological machine through the cutting tool on preparation or in other situations in the opposite direction and stimulates the resistance to cutting reduction. The internuclear interactions in the preparation material at cutting, which are estimated by size by chemical metal connection, do not exceed 90 kJ/mol. The experimental researches of vibration amplitudes and work ability of new boring bar in the process precision boring of a steel pipe (30HGSА) demonstrate reduction of vibrational acceleration amplitude in 3 times in comparison with a typical boring bar design and improvement of roughness – in 1,85 times. Partially the results of work are used at the base enterprise for production details for oil industry equipment.

Keywords: vibration, technological machines, boring, alloy steel, molecular bonds, boring bar.

Введение. Развитие высоких технологий в процессе активизированного научно-технического прогресса в машиностроении на основе фундаментальных исследований в области механики технологических процессов характеризуется медленными темпами освоения новой техники и выпуска конкурентоспособной продукции в стране вследствие ряда причин, одной из которых является слабая материальная база машиностроительного производства. Отсутствие специализированных КБ и НИИ, нацеленных на разработку и оснащение производства прогрессивными видами режущего инструмента и прецизионными технологическими машинами, не компенсируется единичными работами вузовских исследований. Такое положение заметно тормозит темпы развития отечественной экономики и отличается от практики и методов постановки на производство новой продукции в странах – мировых лидерах: Германии, Японии, США. Потеря технологической независимости в производстве продукции машиностроения, как известно, оборачивается существенными убытками в создании и накоплении национального дохода и валового национального продукта. Кроме того, наметилось отставание в исследованиях по динамике и вибрации станков, о чем свидетельствуют малочисленные отечественные публикации по тематике технологии станкостроения в отличие от зарубежных фирм DMG и HAAS [1–4]. И это, когда в мире производства рабочих машин на порядок возросли требования к их прецизионности, надежности и безопасности.

В существующей классификации рабочих машин, предложенной Институтом машиноведения Академии наук, важное место занимают отраслевые технологические машины, в частности станки, работающие с лезвийным режущим инструментом. Процесс резания в этих машинах сопровождается поперечной и угловой вибрацией, снижающей эффективность труда по обеспечению точности и прецизионности, надежности и производительности. Существующая практика механической обработки заготовок в первом случае направлена на снижение вредного влияния явления вибрации, а во втором – положительного её использования в финишных операциях формообразования деталей [5]. Снижение амплитуд вибрации в операциях точения и фрезерования в технологических процессах формообразования контура детали лезвийным инструментом является предпочтительным в развитии современного машиностроения.

1. Принципы возникновения вибрации в технологических машинах. Известно, что из широкого перечня вибрационных процессов, сопровождающих резание, поперечные и угловые колебания – главные составляющие, понижающие эффективность технологических машин. Причиной такого положения являются нелинейность кинематических траекторий движения механизмов рабочей машины, проявление погрешности изготовления базовых механизмов и неуравновешенности подвижных масс [1; 6]. Основную группу факторов, способствующих возникновению вибрации в технологических машинах, составляют [7]:

- дисбаланс роторов механизмов главного и вспомогательного движения, входящих в кинематическую цепь рабочей машины;
- силы трения в кинематических парах при падающей зависимости их от скорости, что в отдельных случаях сопровождается акустическим явлением с изменяющимся звуковым давлением;
- силы фрикционного трения сливной и элементной стружки о переднюю грань режущего инструмента и поверхность заготовки;
- координатные связи упругих деформаций динамической системы с параметрами резания и вариациями зазоров в парах трения;
- различие в процессах вязкого и хрупкого разрушения при резании. Так, распространение вязкой микротрещины резания сопровождается затратой энергии при стружкообразовании, подводимой к режущему инструменту и предмету труда, а хрупкая микротрещина резания распространяется за счет освобождения запасенной энергии с сопровождением пластического течения материала впереди головки трещины. Например, известно, что возникновение трещины длиной $2c$ приводит к освобождению упругой энергии, определяемой функцией приведенной силы [8]

$$A = \pi \cdot c^2 \cdot (\sigma^2 / E),$$

где c – половина длины трещины; σ – предел прочности материала; E – модуль упругости.

При взаимодействии дислокаций в материале в процессе внедрения резца в массив заготовки в форме клина, в экстремальных точках создаются условия для возникновения микротрещин на уровне молекул. Особенно такое явление наблюдается при повышенных амплитудах колебаний атомов, сопровождаемых торможением движения свободных валентных электронов термоЭДС с падением их скорости [9; 10].

Известно [7; 11], что вариация расстояния между атомными плоскостями и изменение силы межатомной связи описываются нелинейными законами микромеханики прочности и разрушения. При приложении нагрузки к твердому телу в процессе механической обработки расстояние между атомами меняется в зависимости от силы межатомной связи и приложенной нагрузки. Имеется ряд исследований, утверждающих о влиянии потока коллективизированных электронов термоЭДС на изменение силы сопротивления резанию при обработке вязких металлических материалов, протекающего от режущего инструмента к заготовке или в обратном направлении в зависимости от ряда активности металлов [5; 7; 9; 12]. При этом межатомные взаимодействия в материале заготовки не превышают 90 кДж/моль, например, при массе молекулы стали марки 30ХГСА порядка $9 \cdot 10^{-26}$ кг и размере её не выше $2,25 \cdot 10^{-10}$ м, при радиусе заострения вершины резца в пределах $(12-16) \cdot 10^{-6}$ м, обеспечивающего стружкообразование. При волновом потоке коллективизированных внешних электронов термоЭДС между резцом и заготовкой, движущихся со средней скоростью $5 \cdot 10^6$ м/с, происходит приращение амплитуд колебаний атомов в материалах заготовки и режущего инструмента

в пределах 10^{-3} нм при частоте 10 ТГц. При этом увеличивается сопротивление резанию за счет частичного прерывания потока валентных электронов. Такие явления способствуют прохождению акустических волн при резании и раскачиванию микролибрации пары «резец–заготовка» и началу вибрирования технологической системы [13–15].

Создание оптимальных условий работы средств технологического оснащения обеспечивает рост точности, качества и производительности, эффективности механической обработки. Уместно отметить то, что сдерживающим фактором, кроме вибрации в освоении высокой технологии, является низкая стойкость режущего инструмента, требующего нового подхода как к конструированию, так и к технологии его производства и эксплуатации.

2. Расточная оправка с демпфированием колебательных процессов. В практике механической обработки используют специальные конструкции режущего инструмента для демпфирования как поперечной, так и угловой вибрации. Для снижения амплитуд вибрации технологической системы при резании и повышения сопротивления динамической системы используют устройства гашения вибрации и ударного рассеивающего действия.

Учитывая анализ существующих разработок в области режущего инструмента, в работе предлагается новая конструкция расточной оправки с демпфирующим элементом [16].

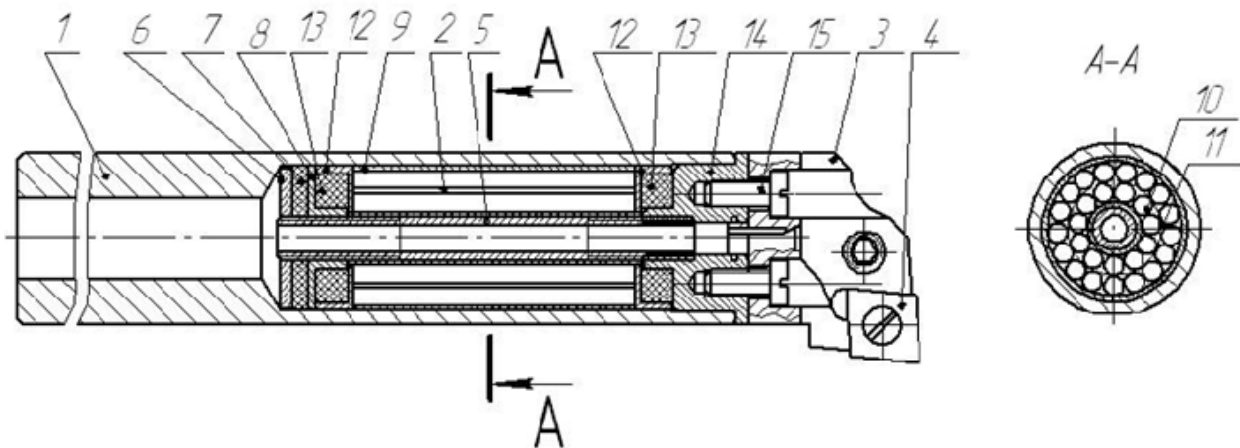
Расточная оправка, представленная на рисунке, состоит из корпуса 1 с осевым отверстием, в котором установлен виброгаситель 2, и резцовой головки 3 с режущей пластиной 4 типа CNMG, SNMG или CCMT, CNGA. Виброгаситель 2 состоит из шпильки 5, имеющей отверстие под смазочно-охлаждающую жидкость и на концах резьбу для установки упорного кольца с резьбой 6, кольца из жесткой резины 7, задней резьбовой втулки 8, цилиндра 9, имеющего осевую кольцевую полость, внутри которой размещены металлические стержни 10 из материала, плотность которого превышает плотность материала корпуса,

сориентированные вдоль оси цилиндра, а свободное пространство между стержнями заполнено микропошком 11. Торцевые поверхности цилиндра 9 герметично ограничены упорными втулками 12, контактирующими с резиновыми подушками 13, выполненными из мягкой резины. Виброгаситель зафиксирован в корпусе 1 базовой втулкой 14. Резцовая головка 3 крепится к базовой втулке 14 тремя винтами 15. Базовая втулка 14 фиксируется в корпусе 1 двумя диаметрными шпильками. На плоскостях контакта резцовой головки 3 с базовой втулкой 14 выполнены насечки. Координатная привязка расточной оправки в станке выполнена: продольное сечение по горизонтальной оси Z, поперечное сечение по горизонтальной оси X и вертикальной Y, в соответствии с рекомендациями ISO 841:2001.

Расточная оправка работает следующим образом. В процессе точения на расточную оправку действует сила сопротивления резанию, которая способствует деформации и изгибу оправки и одновременному прогибу и повороту стержней из металла, плотность которого выше плотности материала корпуса, при этом увеличивается коэффициент сопротивления упругой системы, приводящий к снижению амплитуды вибрации расточной оправки.

Расточная головка с виброгасителем представленной конструкции обеспечивает увеличение массы, осевое смещение центра тяжести расточной оправки и приближение его к плоскости резания. В результате чего происходит изменение собственной частоты расточной оправки и стабилизация вибрационного процесса в переходном и резонансном режимах работы.

Поглощение и рассеяние энергии колебательного процесса осуществляется в следующих парах трения: стержни 10 из материала повышенной плотности – микропорошок 11, резцовая головка 3 – базовая втулка 14. Кроме того, снижение амплитуды вибрации происходит в кольце из жесткой резины 12 и резиновых подушках 13 из мягкой резины.



Расточная оправка с демпфирующим элементом

Коэффициент передачи виброускорения от расточной оправки к заготовке в процессе растачивания отверстия снижается вследствие действия виброгасителя и наличия регламентного смещения центра тяжести оправки по оси Z .

Кроме того, центр тяжести расточной оправки смещен по:

- горизонтальной оси X на величину, определяемую по формуле

$$dx = \mu \cdot g/p^2,$$

где μ – коэффициент Пуассона обрабатываемого материала; g – ускорение земного притяжения; p – собственная поперечная частота оправки;

- вертикальной оси Y на величину, рассчитываемую по формуле

$$dy = r \cdot g/\omega^2,$$

где $r = a/j$ – коэффициент корреляции; a – ударная вязкость обрабатываемого материала, Дж/м²; j – жесткость расточной оправки, Н/м; ω – вынужденная частота оправки.

Величина превышения лезвия расточной оправки по оси Y определяется при настройке станка по функции

$$y = PL^3 / 3EI,$$

где P – средняя сила сопротивления резанию; L – длина вылета оправки; E – модуль Юнга; I – осевой момент инерции сечения оправки.

3. Экспериментальные исследования процесса резания конструкционных сталей. Экспериментальные исследования сравнительной оценки расточной оправки выполнялись при растачивании трубы диаметром 128 мм с толщиной 14 мм из стали марки 30ХГСА твердостью 38 HRC при подаче $s = 0,12$ мм/об, частоте вращения $n = 150$ мин⁻¹, длине вылета оправки $L_1 = 185$ мм, на обрабатывающем центре токарной группы прецизионного класса модели SL20HE фирмы HAAS. Измерение пиковой амплитуды виброускорения в процессе растачивания осуществлялось сертифицированным акселерометром с метрологической поверкой модели АТТ-9002 с датчиком, расположенным в зоне базирования оправки в гнезде револьверной головки. Инструментально измеренные пиковые амплитуды виброускорения при глубине точения 1,5 мм в первой серии эксперимента для новой оправки составили: $Av = 13, 16, 19, 24$ м/с² при загрузке станка по мощности 0,23 со среднеарифметическим значением $Av = 18$ м/с²; а во второй серии: $Av_1 = 8, 9, 10, 11$ м/с² при загрузке 0,13 со средним значением $Av_1 = 9,5$ м/с². Для типовой оправки при загрузке станка 0,23 измеренная амплитуда виброускорения составила $Av_0 = 31, 53, 68, 78$ м/с² при среднем значении 57,5 м/с², что в 3 раза больше значения, полученного для экспериментальной расточной оправки. При чистовом точении наблюдалось снижение амплитуд вибрации до 6 раз. Контрольная оценка шероховатости проводилась по параметру Ra с использованием прибора TR220, которая составила 2,193 мкм при точении типовой оправкой и 1,184 мкм при обработке предложенной оправкой, что лучше в 1,85 раза.

Технический результат от использования расточной оправки: расширение номенклатуры и размеров деталей, повышение качества и производительности точения длинномерных деталей в виде тонкостенных труб, увеличение стойкости режущего инструмента.

Эффективность разработанной расточной оправки в операции точения обеспечивается:

- использованием демпфирующего устройства с дополнительной массой, расположенной внутри расточной оправки;
- регулированием потока коллективизированных электронов;
- наличием сменных головок под различные виды режущих пластин по стандартам ИСО;
- отсутствием дополнительной регулировки частоты колебания;
- наличием подвода охлаждающей жидкости в непосредственную зону резания;
- концентрацией массы, создающей эффект гашения вибрации в зоне резания процесса формообразования заданной поверхности.

Заключение. Выполненные исследования показали перспективность использования созданной конструкции расточной оправки с демпфирующим элементом в операциях прецизионной механической обработки материалов повышенной прочности и вязкости. Отличительными особенностями оправки, кроме конструктивных, является её способность ограничивать поток коллективизированных электронов термоЭДС в процессе точения конструкционных легированных сталей, что позволяет уменьшить сопротивление резанию. Одна из модификаций расточной оправки с демпфирующим элементом внедрена на базовом предприятии. Новая конструкция расточной оправки дает возможность использования режимов резания со скоростью рабочей подачи порядка 12 м/мин, что в 5–6 раз превышает существующие режимы прецизионного точения конструкционных легированных сталей в процессах типовой технологии.

Библиографические ссылки

1. Фрейденштейн Ф., Мейси Ж. П., Мейки Е. Р. Оптимальное одновременное уравнивание вертикального и горизонтального моментов в быстроходных машинах // Конструирование и технология машиностроения : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1981. Т. 103, № 3. С. 9–15.
2. Кэннати-Асибу Е., Дорнфелд Д. А. Количественные соотношения для акустической эмиссии при ортогональном резании металлов // Конструирование и технология машиностроения : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1981. Т. 103, № 3. С. 152–163.
3. Лэ Д. Механика формообразования стружки при ортогональном резании // Теоретические основы инженерных расчетов : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1984. Т. 106, № 1. С. 10–17.
4. Раменская Е. В., Филиппов Ю. А. Управление вибрацией средств технологического оснащения : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. 172 с.

5. Микляев П. Г., Нешпор Г. С., Кудряшов В. Г. Кинетика разрушения. М. : Металлургия, 1979. 279 с.
6. Трикамо С. Ж., Лоуэн Ж. Ж. Новый подход к созданию устройств для уравнивания сил в плоских многозвенниках // Конструирование и технология машиностроения : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1981. Т. 103, № 3. С. 43–48.
7. Раменская Е. В., Филиппов Ю. А., Амелченко Н. А. Механизм генерирования и распространения вибрации в технологических машинах // Вестник СибГАУ. 2012. № 1 (41). С. 132–138.
8. Токадзи К., Андо З., Кодзима Т. Замедление роста усталостной трещины в малоуглеродистой стали в соленой воде // Теоретические основы инженерных расчетов : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1984. Т. 106, № 1. С. 44–49.
9. Янг Ж. Н., Донат Р. С. Статистика роста трещины в жаропрочном сплаве при действии длительной нагрузки // Теоретические основы инженерных расчетов : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1984. Т. 106. № 1. С. 81–86.
10. Суо Л., Уайли Е. Б. Комплексная скорость распространения волн и гидравлические переходные процессы в вязкоупругих трубах // Современное машиностроение : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1991. № 5. С. 156–160.
11. Коулман Н. В., Ходж Б. К., Тэйлор Р. П. Новая обработка эксперимента Шлихтинга по исследованию шероховатости поверхности // Теоретические основы инженерных расчетов : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1984. Т. 106, № 1. С. 131–137.
12. Повышение стойкости режущего инструмента методом электроизоляции / В. В. Медисон [и др.] // Технология машиностроения. 2012. № 10. С. 13–16.
13. Койетт Ж. П., Фейф К. Р. Усовершенствованный способ определения акустических собственных колебаний с помощью метода граничных элементов // Современное машиностроение : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1990. № 12. С. 133–140.
14. Пирз А. Д., Киль Г. Ж. Распространение упругих волн в тонкой цилиндрической оболочке, возбуждаемых сосредоточенными силами // Современное машиностроение : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1990. № 12. С. 140–147.
15. Уотс Д., Старки Ж. Оптимизация амплитуд колебаний элементов конструкции вязким демпфированием // Современное машиностроение : Труды американского общества инженеров-механиков, ASME. 1990. № 12. С. 89–95.
16. Расточная оправка : пат. на полезную модель RU / Латюк Д. В., Раменская Е. В., Филиппов Ю. А. № 129439. 2013.
17. *obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1981, Vol. 103, No. 3, P. 9–15 (In Russ.).*
18. Kennati-Asibu E., Dornfeld D. A. [Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Mettal Cutting]. *Konstruirovaniye i tekhnologiya mashinostroeniya. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1981, Vol. 103, No. 3, P. 152–163 (In Russ.).*
19. Le D. [The Nature of Chip Formation in Orthogonal Machining]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1984, Vol. 106, No. 1, P. 10–17 (In Russ.).*
20. Ramenskaja E. V., Filippov Ju. A. *Upravlenie vibratsiej sredstv tekhnologicheskogo osnashhenija: monografija*. [Control of vibration technical equipment: monograph]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2011, 172 p.
21. Mikljaev P. G., Neshpor G. S., Kudrjashov V. G. *Kinetika razrusheniya* [The kinetics of destruction]. Moscow, Metallurgija Publ., 1979, 279 p.
22. Trikamo S. Zh., Louen Zh. Zh. [A New Concept for Force Balancing Machineg for Planar Linkages]. *Konstruirovaniye i tekhnologiya mashinostroeniya. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1981, Vol. 103, No. 3, P. 43–48 (In Russ.).*
23. Ramenskaja E. V., Filippov Ju. A., Amelchenko N. A. [The mechanism of generation and propagation of vibration of the technological machines]. *Vestnik SibGAU. 2012, No. 1 (41), P. 132–138 (In Russ.).*
24. Tokadzi K., Ando Z., Kodzima T. [Fatigue Crack retardation of Low Carbon Steel in Salt water]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1984, Vol. 106, No. 1, P. 44–49 (In Russ.).*
25. Yang Zh. N., Donat R. S. [Statistics of Crack Growth of a Superalloy Under Sustained Load]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1984, Vol. 106, No. 1, P. 81–86 (In Russ.).*
26. Suo L., Uayli E. B. [Complex Wavespeed and Hydraulic Transients in Viscoelastic Pipes]. *Sovremennoe mashinostroenie Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1991, No. 5, P. 156–160 (In Russ.).*
27. Koulman N. V., Khodzh B. K., Teylor R. P. [A Be-Evaluation of Schlichtings Surface Roughness Experiment]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1984, Vol. 106, No. 1, P. 131–137 (In Russ.).*
28. Medison V. V., Pegashkin V. F., Golubev V. I. et al. [The increased resistance of the cutting tool by the method of electoisolation]. *Tehnologiya mashinostroeniya. 2012, No. 10, P. 13–16 (In Russ.).*
29. Koyett Zh. P., Feyf K. R. [An Improved Formulation for Acoustic Eigenmode Extraction from Boundary Element Models]. *Sovremennoe mashinostroenie. Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1990, No. 12, P. 133–140 (In Russ.).*
30. Pirz A. D., Kil G. Zh. [Elastic Wave Propagation from Point Excitations on Thin-Walled Cylindrical Shells]. *Sovremennoe mashinostroenie Trudy amerikan-*

References

1. Freydenshteyn F., Meysi Zh. P., Meyki E. R. [Optimum Balancing of Combined Pitchyng and Yawing Moments in High-Speed Machinery]. *Konstruirovaniye i tekhnologiya mashinostroeniya. Trudy amerikanskogo*

skogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1990, No. 12, P. 140–147 (In Russ.).

15. Uots D., Starki Zh. [Optimization of Rasponse Amplitudes Viscously Damped Structures]. *Sovremennoe mashinostroenie. Trudy amerikanskogo obshchestva*

inzhenerov-mekhanikov, ASME. 1990, No. 12, P. 89–95 (In Russ.).

16. Latjuk D. V., Ramenskaja E. V., Filippov Ju. A. *Rastochhnaja opravka*. [Boring bar]. Patent na poleznuju model RU, no. 129439, 2013.

© Раменская Е. В., Филиппов Ю. А., Латюк Д. В., 2014