

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПРИ РЕМОНТНОМ РАСТАЧИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

В.Е. Овсянников, *В.И. Васильев
Курганский государственный университет,
г. Курган, Россия
*vik9800@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В конструкциях строительно-дорожных машин довольно широко используются детали с отверстиями. Для черновой, получистовой, а в ряде случаев и чистой обработки таких поверхностей применяется растачивание. Данный вид обработки зачастую сопровождается негативным характером колебательных процессов, что приводит к снижению точности и качества поверхности. В данной статье изучается возможность использования расчетного метода исследования колебательных процессов при растачивании, который позволит назначать режимы резания, обеспечивающие требуемые выходные параметры процесса обработки.

Материалы и методы. В качестве расчетной модели расточного резца была использована двухопорная балка. Решение задачи моделирования колебаний в рассматриваемом случае сводится к определению перемещений точки, соответствующей вершине резца (точки приложения равнодействующей сил резания). Определение перемещений производилось с использованием интегралов Мора. В модели учтено влияние образования и отделения стружки за счет введения дополнительной периодически действующей возмущающей силы.

Результаты. Расчет значений сил резания выполнялся с использованием зависимостей степенного вида. В качестве частоты возмущающего воздействия была принята частота стружкообразования. Частота образования стружки определялась на основе расчетных зависимостей, которые связывают параметры инструмента, срезаемого слоя и режимов резания. Были получены реализации колебательных процессов и изучено влияние различных факторов на амплитуду колебаний.

Обсуждение и заключение. Оценка адекватности полученных результатов производилась сравнением с данными эксперимента. В среднем ошибка не превышала 20%. Разработанная модель учитывает геометрические параметры инструмента (вылет, углы пластины и т.д.), режимы резания и механические свойства обрабатываемого материала, параметры образующейся стружки. Модель может использоваться как при проектировании операций растачивания, так и при оптимизации режимов резания с целью повышения производительности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительно-дорожные машины, растачивание, колебания, вибрации, отверстия, резец, моделирование.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность рецензентам, которые будут работать с настоящей статьей.

© В.Е. Овсянников, В.И. Васильев



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DETAILS' REPAIR OF CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES: FLUCTUATIONS' MODELLING

V.E. Ovsyannikov, *V.I. Vasilyev
Kurgan State University,
Kurgan, Russia
*vik9800@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. Hole details are quite widely used in structures of construction and road machines. The specialists apply boring for draft, semi-fair, and in some cases for fair processing of such surfaces. This type of processing is often followed by the negative nature of oscillatory processes that leads to decrease in accuracy and in the surface quality. The paper studies the possibility of the calculation method's usage in oscillatory processes, which allows assigning the cutting modes by providing required output parameters.

Materials and methods. The authors used the double-support beam as a design model of a boring cutter. The solution of the fluctuations' modeling came down to definition of point movements, which corresponded to cutter top (points of application equally effective cutting forces). The authors made the definition of movements with use of Mor integrals. Therefore, the paper considered the impact of chip formation and separation due to perturbing forces.

Results. The authors carried out the calculation of forces' values in cutting with use of the degree dependences. Moreover, the authors accepted the formation's frequency as the frequency of the perturbing influenced structure. The frequency of the chip formation was defined on the basis of estimated dependences, which connected parameters of the tool, the cut-off layer and modes of cutting. As a result, the author received the implementations of oscillatory processes and studied the influence of different factors on vibration amplitude.

Discussion and conclusions. The authors make assessment of the received results' adequacy by comparison with experimental data. The error doesn't exceed 20%. The developed model considers geometrical parameters of the tool (a departure, plate corners, etc.), the modes of cutting both mechanical properties of the processed material and parameters of the chip formation. The model can be used both at design of boring operations and by optimization of the cutting modes for the purpose of productivity increase.

KEYWORD: construction and road machines, boring, fluctuations, vibrations, openings, cutter, modeling.

ACKNOWLEDGEMENTS. Authors express their gratitude to reviewers of the manuscript.

© V.E. Ovsyannikov, V.I. Vasilyev



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях строительно-дорожных машин используется достаточно большое количество ответственных деталей, имеющих исполнительные поверхности – отверстия (детали двигателей, тормозных систем, трансмиссии, навесных агрегатов и др.). Точность и качество поверхности оказывают существенное влияние на работоспособность данных деталей и узлов, в которые они входят¹ [1, 2, 3, 4].

Одним из наиболее широко используемых методов черновой, получистовой, а в ряде случаев и финишной обработки является растачивание. Чаще всего данный вид обработки выполняется либо на расточных станках с применением вращающегося инструмента, либо на токарных станках, когда инструмент не выполняет вращательного движения. Однако в обоих случаях используется режущий инструмент, который имеет значительный вылет, что существенно снижает его жесткость и виброустойчивость. В условиях ремонтного производства данное обстоятельство дополнительно усугубляется тем, что используемое оборудование изношено, и средства технологического оснащения также далеко не всегда находятся в удовлетворительном состоянии. Одним из наиболее распространенных видов брака при такой обработке является наличие на поверхности рисок от вершины резца (в производственной практике такой брак называется «дробление»). Помимо этого негативный характер колебательных процессов в ходе растачивания может приводить к ухудшению высотных параметров шероховатости обработанной поверхности и точности формы.

Главной причиной возникновения указанных несоответствий являются вибрации элементов технологической системы. В случае, когда отверстие в детали должно быть выполнено с высокими показателями точности и качества (IT8...6 и Ra1.6...0.32), наличие указанных выше дефектов неприемлемо. Причем даже при использовании после растачивания финишной обработки (например, хонингования) возникшие дефекты удается ликвидировать далеко не всегда.

Следовательно, возникает необходимость определения режимов обработки, дающих

нужную виброустойчивость процесса. Традиционно решение данной проблемы производится опытным путем, т.е. выполняются пробные проходы на различных режимах резания, после чего выбирается значение подачи и скорости резания, обеспечивающее необходимое качество поверхности и точность. Основным недостатком такого подхода является то, что подбор требует большого количества времени и определенных материальных затрат в виде изготовления пробных деталей, которые заведомо являются бракованными. Кроме того, подобные операции может выполнять рабочий с достаточно большим производственным опытом. Поэтому разработка расчетных методик определения режимов растачивания с учетом обеспечения требуемой виброустойчивости является актуальной задачей.

Обеспечению необходимой виброустойчивости посвящены исследования многих отечественных и зарубежных исследователей² [1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. При этом использовались как экспериментальные исследования² [1, 2, 5, 7, 13, 16], так и теоретические модели [5, 8, 11, 15, 18] и имитационное моделирование на основе метода конечных элементов [10, 18]. К основным недостаткам экспериментального подхода можно отнести ограниченность применения результатов (их можно применять лишь для конкретных условий, в которых был проведен эксперимент). Использование моделей на основе метода конечных элементов требует мощных вычислительных систем и дорогостоящих программных пакетов, поэтому использование расчетных моделей представляется наиболее перспективным для решения поставленной задачи.

Чаще всего расчетные модели, описывающие колебательные процессы применительно к механической обработке, учитывают только характеристики материала обрабатываемой заготовки, режимы резания и параметры инструмента [6, 8, 11, 15, 18]. Однако для более адекватного описания процессов необходимо еще учитывать возмущающее воздействие, которое оказывает образующаяся в ходе обработки стружка.

Целью работы является разработка расчетной модели колебаний расточного резца, позволяющей определять режимы резания, обеспечивающие необходимую виброустойчивость при обработке деталей строительно-дорожных машин.

¹ Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. М. : Машиностроение, 1984. 184 с.

² Григорьев С.Н., Маслов А.Р., Синопальников В.А. Диагностирование и контроль технологических систем в машиностроении. М. : ИТО, 2008. 200 с.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве расчетной модели расточного резца была применена двухопорная балка. В работе использована плоская расчетная модель. В качестве возмущающего фактора рассматривается равнодействующая тангенциальной и радиальной сил резания. На рисунках 1 и 2 представлены расчетные схемы и единичная система.

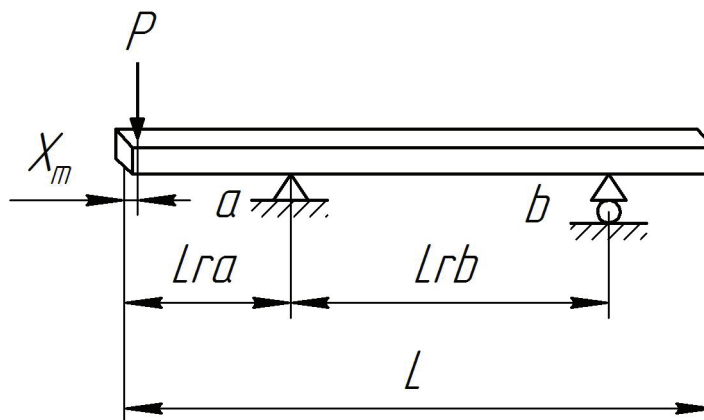


Рисунок 1 – Расчетная схема

Figure 1 – Calculation scheme

Решение задачи моделирования колебаний в рассматриваемом случае сводится к определению перемещений точки приложения возмущающего воздействия (вершине режущего инструмента). Для того чтобы определить данную величину, необходимо рассчитать параметры единичной и грузовой систем [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

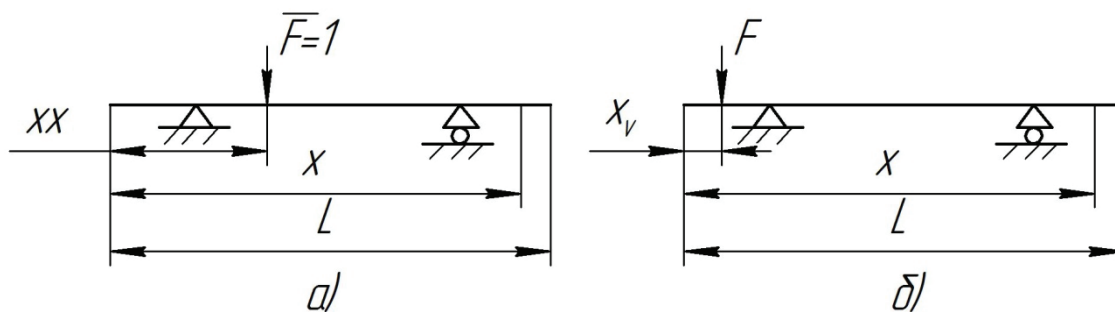


Рисунок 2 – Расчетные схемы: а – единичная система; б – грузовая система

Figure 2 – Calculation diagrams: a – single system; b – cargo system

Возникающие в державке расточного резца внутренние силовые факторы можно определить с использованием следующих выражений [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]:

$$M(F, R_A, R_B, x) = R_A(x - L_{RA}) \cdot (x > L_{RA}) + R_B \cdot (x - L_{RB}) \cdot (x > L_{RB}) - F(x - x_m) \cdot (x > x_m), \quad (1)$$

$$M1(R_A, R_B, xx, x) = R_A(x - L_{RA}) \cdot (x > L_{RA}) + R_B \cdot (x - L_{RB}) \cdot (x > L_{RB}) - 1(x - xx) \cdot (x > xx), \quad (2)$$

где \$F\$ – возмущающая сила; \$R_A, R_B\$ – опорные реакции; \$xx\$ – точка приложения усилий; \$x\$ – значение текущей координаты (характеризует положение текущего сечения); \$L_{RA}, L_{RB}\$ – расстояния, характеризующие положение опор; \$x_m\$ – вылет инструмента.

Определение искомой величины перемещения производим на основе интеграла Мора³ [6, 7, 8]:

$$\Delta(F) = \int_0^L \frac{M(F, R_A(F), R_B(F), x) \cdot M1(R1_A(x_m), R1_B(x_m), x_m, x)}{EJ} dx, \quad (3)$$

где E – модуль продольной упругости; I – момент инерции расчетного сечения балки.

Выражение для определения частоты собственных колебаний державки расточного резца имеет вид [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Частота собственных колебаний определяется следующим образом³ [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m + k_{\text{ПП}}m_0}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{ПП}} = \frac{\rho}{m_0 \Delta(F)^2} \cdot \int_0^L A(X) \Delta_X(X)^2 dx$ – коэффициент приведения массы; m_0 – собственная масса балки; m – сосредоточенная масса (в нашем случае $m=P/g$).

$$k = \frac{1}{\int_0^L \frac{M1(R1_A(x_m), R1_B(x_m), x_m, x)^2}{EJ} dx} \quad \text{– жесткость балки.}$$

Амплитуда колебаний определяется следующим образом³ [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]:

$$A = \sqrt{u_0^2 + \frac{(v_0 + hu_0)^2}{\omega^2}}, \quad (5)$$

где h – коэффициент затухания колебаний [15]; u_0 – собственная частота колебаний балки;

u_0 – частота действия динамической составляющей силы (в нашем случае действия срывающей стружки при растачивании).

Учет периодического воздействия возмущающей силы, вызванного образованием стружки, будем производить на основе интеграла Дюамеля³ [15]:

$$u(F, t) = \frac{1}{m \cdot \omega} \cdot \int_0^t F(\tau) \cdot e^{-h(t-\tau)} \cdot \sin(\omega \cdot (t - \tau)) d\tau. \quad (6)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Величина возмущающего воздействия определялась с использованием расчетных зависимостей вида [15]:

$$Pz, y, x = 10 \cdot Cp \cdot t^x s^y v^n \cdot Kp, \quad (7)$$

где Cp, x, y, n – поправочные коэффициенты; t – глубина резания; S – подача; V – скорость резания; Kp – коэффициент, учитывающий условия резания.

³ Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. М. : Машиностроение, 1984. 184 с.

В качестве частоты возмущающего воздействия была принята частота стружкообразования. В работах [16, 17] установлено, что частота образования стружки зависит от ее вида, параметров инструмента и режимов обработки. На сегодняшний день в основном применяются инструменты с режущей частью из твердого сплава. При использовании таких инструментов преимущественно образуется суставчатая стружка, тогда зависимость для определения частоты образования стружки имеет вид [16]:

$$v = T^{-1} = 2V \sin \varphi (\cos \varphi + \sin \varphi \operatorname{tg}(\varphi - \gamma)) / \rho_1, \quad (8)$$

где φ – главный угол в плане резца; γ – передний угол; ρ_1 – радиус при вершине резца.

В качестве примера рассмотрим чистовое растачивание отверстия $\varnothing 75$ мм; $V=176$ м/мин; $t=0.5$ мм; $S=0.4$ мм/об; главный угол в плане резца $\varphi=93^\circ$; передний угол $\gamma=5^\circ$, $\rho_1=1$ мм; обрабатываемый материал – сталь 45; инструментальный материал – твердый сплав марки Т15К6; сечение державки 25x16 мм.

Пример реализации колебательного процесса приведен на рисунке 3.

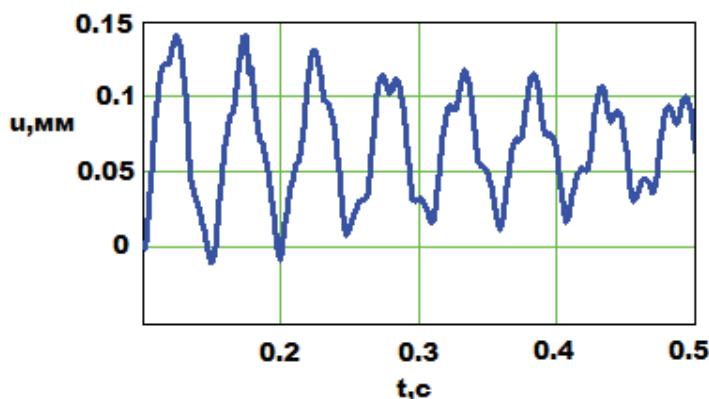


Рисунок 3 – Пример реализации колебаний

Figure 3 – Example of vibration implementation

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки степени адекватности полученных результатов проведем сравнение результатов расчетов с использованием разработанной модели и экспериментальных исследований, проведенных в работе [18]. Принимаем вылет резца 100 мм и сечение державки 25x25 мм, тогда погрешность определения амплитуды составляет

$$\Delta = \frac{\Delta_{теор} - \Delta_{эсп}}{\Delta_{теор}} \times 100\% = \frac{38 - 32}{38} \times 100\% = 15.7\%.$$

В целом погрешность определения максимальной амплитуды колебаний резца не превышает 18%. Учет параметров стружки в расчетной модели очень важный фактор, ввиду того что параметры стружки оказывают существенное влияние на колебательные процессы при чистовой обработке. На рисунке 4 приведена реализация колебательного процесса при увеличении частоты образования стружки на 40% (по сравнению с колебательным процессом, представленным на рисунке 3).

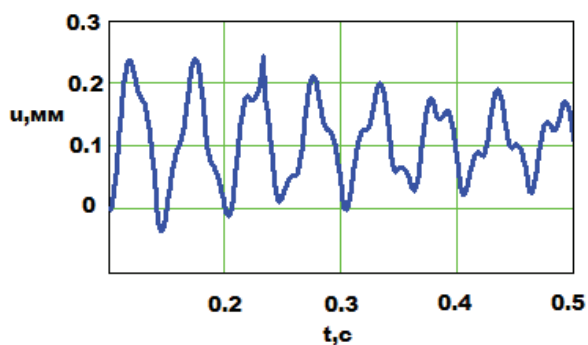


Рисунок 4 – Пример реализации колебаний при увеличении частоты образования стружки на 40%

Figure 4 – Example of vibration implementation by increase frequencies of the shaving formation for 40%

Сравнивая амплитуды колебаний, можно сказать, что во втором случае она выросла более чем на 55%.

Таким образом, разработанная модель учитывает следующие аспекты процесса обработки отверстий:

- геометрические параметры инструмента: вылет резца, углы режущей пластины, размер державки;
- режимы резания и механические свойства обрабатываемого материала;
- параметры образующейся стружки.

Последовательность назначения и оптимизации режимов обработки с целью обеспечения требуемой виброустойчивости можно представить в виде блок-схемы (рисунок 5).

В качестве параметра, который подвергается корректировке, выбрана подача, т.к. в условиях ремонтного производства величина глубины резания обычно определена заранее, причем желательно удаление слоя припуска выполнять за один проход (поэтому этот параметр в модели не изменяется). Данная модель может быть использована при решении задач проектирования операций растачивания отверстий деталей, входящих в конструкции строительно-дорожных машин либо при оптимизации режимов резания с целью повышения производительности обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шустиков А.Д. Влияние вибраций на износ инструмента // СТИН. 2000. № 1. С. 12–16.
2. Схиртладзе А.Г. Повышение точности растачивания отверстий // Технология машиностроения. 2006. № 2. С. 15–17.
3. Корнилович С.А. Причины интенсивного изнашивания цилиндров двигателей ЯМЗ-

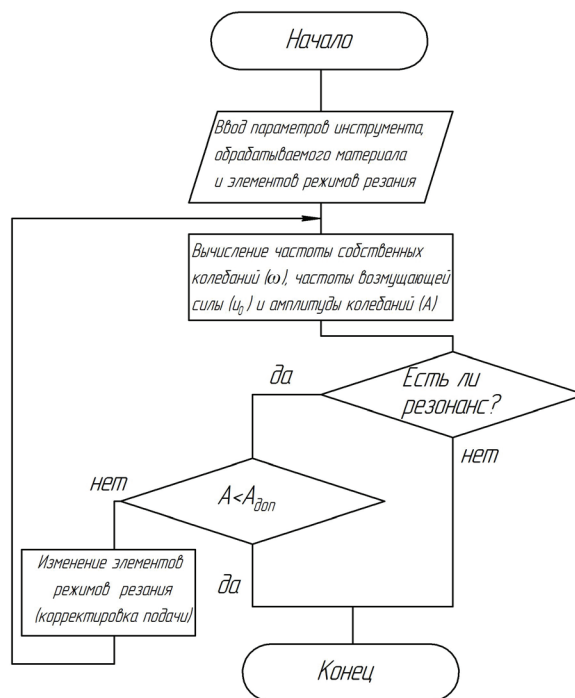


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма назначения режимов обработки детали

Figure 5 – Flow-Chart for the processing modes

238НБ // Вестник СибАДИ. 2017;(2(54)):70-76. doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-70-76.

4. Корнилович С.А., Трофимов Б.С. Анализ точности, стабильности технологического процесса шлифования коленчатых валов // Вестник СибАДИ. 2018;(6(15)):878-885. doi.org/10.26518/2071-7296-2018-6-878-885.

5. Altintas Y., Eynian M., Onozuka H. Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping // CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2008. № 57. P. 371–374.

6. Black J.T., Kohser R. Materials and Processes in Manufacturing. Danvers: John Wiley & Sons, 2008. 1031 p.

7. Gaurav Saindane. Experimental Investigation of Vibration Damping in Boring Operation using passive damper / Gaurav Saindane, Amit Jakikore, Ashish Umbarkar // International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology. Volume 2, Issue 3. URL: www.ijreat.org/Papers2014/Issue9/IJREATV2I3022.pdf.

8. Miguélez M.H., Rubio L., Loya J.A., Fernández-Sáez J. Improvement of chatter stability in boring operations with passive vibration absorbers // International Journal of Mechanical Sciences. October 2010. Vol. 52, Issue 10. P. 1376–1384.

9. Kai Cheng. *Machining Dynamics. Fundamental, applications and practices* / Cheng Kai. Springer Series in Advanced Manufacturing. Advanced Manufacturing & Enterprise Engineering Department School of Engineering and Design. Brunel University. Middlesex UB8 3PH. UK. 2009.

10. Kalpakjian S., Schmid S. *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson Education, 2009. 1197 p

11. On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations / Hessainia Z., Belbah A., Athmane Y. M., Mabrouki T., Rigal J. F. // *Measurement*. – 2013. – 46 (5). – P. 1671–1681.

12. Ozel T., Zeren E. Finite Element Analysis of The Influence of Edge Roundness on The Stress and Temperature Fields Induced by High Speed Machining // *Int. J. Adv. Manuf. Technology*. 2007. Вып. 35. № 3. pp. 255–267.

13. Siddhpura M., Paurobally R. A review of chatter vibration research in turning // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. October 2012. Volume 61. pp. 27–47.

14. Sortino M., Totis G., Prosperi F. Development of a practical model for selection of stable tooling system configurations in internal turning // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2012. 61. P. 58–70.

15. Мещеряков Р.К. [и др.] Управление точностью обработки при растачивании отверстий // *Вестник машиностроения*. 1988. № 9. С. 30–33.

16. Праведников И.С. Исследование механизма образования циклической стружки // *Нефтегазовое дело*. 2011. № 3. С. 283.

17. Маслеников И.А. Зависимость вида стружки от условий процесса резания при обработке пластичных материалов лезвийным инструментом // *Металлообработка*. 2013. №5–6(77–78). С. 9–16.

18. Хорошайло В.В. Повышение виброустойчивости растачивания на токарно-винторезных станках // *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. № 1/1 (27). С. 17–22.

REFERENCES

1. Shustikov A. D. Vliyanie vibracij na iznos instrumenta [Influence of vibrations on wear tool]. *STIN*. 2000; 1: 12–16 (in Russian).

2. Skhirtladze A.G. Povyshenie tochnosti rastachivaniya otverstij [Increase in accuracy of the hole boring]. *Technology of mechanical engineering*. 2006; 2: 15-17 (in Russian).

3. Kornilovich S.A. Prichiny intensivnogo iznashivaniya cilindrov dvigatelej YAMZ-238NB [Reasons of intensive wear of cylinders of YaMZ-238NB engines]. *Vestnik SIBADI*. 2017; (2(54)): 70–76. doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2 (54)-70-76 (in Russian).

4. Kornilovich S.A., Trofimov B.S. Analiz tochnosti, stabil'nosti tekhnologicheskogo processa shlifovaniya kolenchatyh valov [Analysis of accuracy, stability of technological process of the bent shafts' grinding]. *Vestnik SIBADI*. 2018; (6(15)): 878-885. doi.org/10.26518/2071-7296-2018-6-878-885 (in Russian).

5. Altintas Y., Eynian M., Onozuka H. Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2008; 57: 371–374.

6. Black J.T., Kohser R. *Materials and Processes in Manufacturing*. Danvers :Jonh Wiley & Sons, 2008. 1031 p.

7. Gaurav Saindane, Amit Jakikore, Ashish Umbarkar Experimental Investigation of Vibration Damping in Boring Operation using passive damper // *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*; Volume 2, Issue 3. URL: www.ijreat.org/Papers2014/Issue9/IJREATV2I3022.pdf.

8. Miguélez M. H., Rubio L., Loya J. A., Fernández-Sáez J. Improvement of chatter stability in boring operations with passive vibration absorbers // *International Journal of Mechanical Sciences*. October 2010; Vol. 52, Issue 10: 1376–1384.

9. Kai Cheng. *Machining Dynamics. Fundamental, applications and practices* / Cheng Kai. Springer Series in Advanced Manufacturing. Advanced Manufacturing & Enterprise Engineering Department School of Engineering and Design. Brunel University. Middlesex UB8 3PH. UK. 2009.

10. Kalpakjian S., Schmid S. *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson Education, 2009. 1197 p.

11. Hessainia Z., Belbah A., Athmane Y. M., Mabrouki T., Rigal J. F. On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations // *Measurement*. 2013; 46 (5): 1671–1681.

12. Ozel T., Zeren E. Finite Element Analysis of The Influence of Edge Roundness on The Stress and Temperature Fields Induced by High Speed Machining // *Int. J. Adv. Manuf. Technology*. 2007; 35. no 3: 255–267.

13. Siddhpura M., Paurobally R. A review of chatter vibration research in turning // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. October 2012; Volume 61: 27–47.

14. Sortino M., Totis G., Proserpi F. Development of a practical model for selection of stable tooling system configurations in internal turning // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2012; 61: 58–70.

15. Mescheryakov R.K. [et al.] Optimizaciya processov obrabotki otverstij [Control of the accuracy during the holes' weeding] // *Journal of Mechanical Engineering*. 1988; 9: 30-33 (in Russian).

16. Pravednikov I.S. Issledovanie mekhanizma obrazovaniya ciklicheskoj struzhki [Research of the mechanism of the cyclic chip's formation]. *Oil and gas business*. 2011; 3: 283 (in Russian).

17. Maslenikov I.A. Zavisimost' vida struzhki ot uslovij processa rezaniya pri obrabotke plastichnyh materialov lezviynym instrumentom [Dependence of the chip type on conditions of cutting when processing plastic materials by the edge tool]. *Metal working*. 2013; 5–6(77–78): 9–16 (in Russian).

18. Horoshaylo V.V. Povyshenie vibroustojchivosti rastachivaniya na tokarnovintoreznyh stankah [Increase in the boring vibrostability on the cutting machines]. *Technological audit and reserves of production*. 2016; 1/1 (27):17–22 (in Russian).

Поступила 16.08.2019, принята к публикации 25.10.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Овсянников Виктор Евгеньевич – канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-8775-0781, доц. кафедры «Автоматизация производственных процессов», Курганский го-

сударственный университет, (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, imk@kgsu.ru, vik9800@mail.ru).

Васильев Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-1130-2181, проф. кафедры «Автомобильный транспорт», Курганский государственный университет, (640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4, atas@mail.ru, vviprof@rtural.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victor E. Ovsyannikov – Candidate of Technical Sciences, ORCID 0000-0002-8775-0781, Associate Professor of the Production Processes' Automation Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, 63/4, Sovetskaya St., e-mails: imk@kgsu.ru, vik9800@mail.ru).

Valery I. Vasilyev – Doctor of Technical Sciences, ORCID 0000-0002-1130-2181, Professor of the Automobile Transport Department, Kurgan State University (640020, Kurgan, 63/4, Sovetskaya St., e-mails: atas@mail.ru, vviprof@rtural.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Васильев В.И. Организация работы авторского коллектива, проработка концепции исследования (50%).

Овсянников В.Е. Проработка теоретического материала, создание модели, вычисления и анализ результатов (50%).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Valery I. Vasilyev – 50% of the organization of the author's research process; elaboration of the research concept.

Victor E. Ovsyannikov – 50% of the study of theoretical material; model's creation; calculation and analysis of results.