

УДК:621.941

В.А. ЗАЛОГА, д-р техн. наук,
Р.Н. ЗИНЧЕНКО, канд. техн. наук,
Ю.В. ШАПОВАЛ, Сумы, Україна

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ ТОЧЕНИЕМ С ВЫСОКОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

У даній статті проаналізовано можливості збільшення продуктивності токарної обробки для деталей малих діаметрів за рахунок збільшення швидкості різання сучасними ріжучими матеріалами. Виконано огляд сучасних токарних обробних центрів, нових інструментальних матеріалів провідних виробників. Виконано аналіз факторів, що впливають на продуктивність обробки деталей. Приділено увагу питанням стійкості технологічної системи в процесі різання. Основними перешкодами для підвищення продуктивності є низька швидкість обертання шпинделів токарних верстатів, пов'язана з балансуванням вузлів верстата і заготовок, і пошук зон сталого різання технологічної системи.

В данной статье проанализированы возможности увеличения производительности токарной обработки для деталей малых диаметров за счет увеличения скорости резания современными режущими материалами. Выполнен обзор современных токарных обрабатывающих центров, новых инструментальных материалов ведущих производителей. Выполнен анализ факторов, влияющих на производительность обработки деталей. Уделено внимание вопросам устойчивости технологической системы в процессе резания. Основными препятствиями для повышения производительности являются низкая скорость вращения шпинделей токарных станков, связанная с балансировкой узлов станка и заготовок, и поиск зон устойчивого резания технологической системы.

This article analyzed the possibility of increasing productivity for turning parts with small diameters by increasing cutting speed modern cutting materials. A review of modern turning machining centers, new tool materials from leading manufacturers. The analysis of the factors influencing the performance of machining. Paying attention to the sustainability of the technological system in the cutting process. The main obstacles to increased productivity are low speed spindle lathes associated with balancing machine components and workpieces and search zones of sustainable technological cutting system.

Непрерывное повышение требований к качеству современных машин и агрегатов, их долговечности и надежности вызывает необходимость широкого применения новых конструкционных материалов, обладающих заданной структурой, высокой твердостью, низкой теплопроводностью и теплостойкостью, характеризующихся низкими показателями обрабатываемости резанием и специфическими особенностями механической обработки.

В настоящий момент машиностроение сделало огромный скачок в сфере обработки материалов с использованием прогрессивного режущего инструмента из новых инструментальных материалов улучшенной геометрии и повышенной стойкости применением различных способов комбинированной обработки с внесением дополнительных потоков энергии и новых кинематических схем. Однако нельзя сказать, что проблемы изготовления деталей машиностроительного назначения полностью решены. Динамичное развитие экономики и конкурентная борьба в условиях рынка требуют постоянного совершенствования технологий производства с учётом высоких характеристик, предъявляемых к качеству продукции и скорости изготовления при обязательном снижении затрат энергии и отходов производства [1].

Цель работы – выполнить анализ возможности увеличения производительности токарной обработки для деталей малых диаметров за счет увеличения скорости резания современными режущими материалами.

Одним из главных аспектов при изготовлении деталей является качество продукции, которое в значительной степени определяется многими составляющими. Одним из основных показателей является физико-механическое состояние поверхностного слоя деталей машин, который формируется в процессе их изготовления в результате сложного термомеханического взаимодействия заготовки, режущего инструмента, стружки, а также технологической (смазочно-охлаждающей) и окружающей сред в контактных зонах механической обработки. Поэтому для выпуска конкурентоспособной продукции современные процессы изготовления деталей машин должны включать технологические методы и приемы, обеспечивающие возможность направленного формирования качества поверхностного слоя. При изготовлении прецизионных деталей

возникла необходимость разработки новых технологических методов и приемов. Эти приемы, как правило, основаны на концентрации физических принципов воздействия на объект обработки, препятствующих технологическому наследованию изменений, внесенных в теплонагруженный поверхностный слой [2, 3, 4, 5].

Постоянно развивается и совершенствуется режущий инструмент. С конца XIX и до середины XX столетия процессы снятия стружки в металлообрабатывающей промышленности динамично развивались. Основным инструментальным материалом была углеродистая сталь, обладающая низкой износостойкостью и недостаточной способностью противостоять тепловым нагрузкам. В процессе резания режущая кромка инструмента, изготовленная из инструментальной стали с содержанием углерода 1,2 % и закаленная до твердости 66 HRC, могла противостоять температурам 200–250 С, и допускать обработку со скоростями резания 10-15 м/мин. Несколько позднее появились легированные инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамический материал, искусственные алмазы, инструменты на основе сверхтвердых нитридов бора [6, 7]. С появлением новых материалов кардинально изменялось представление о процессе резания в целом и его возможностях.

В настоящее время крупнейшие производители режущего инструмента повышают производительность обработки за счет улучшения как геометрии сменных неперетачиваемых пластин, так и разработки новых инструментальных материалов при активном использовании покрытий [8, 9, 10]. К примеру, компанией Sandvik Coromant активно внедряется новый сплав GC4325. Его главное достоинство – сочетание способности работать на повышенных режимах резания с гарантированным увеличением стойкости инструмента. При его изготовлении использованы передовые современные достижения в области изготовления твердых сплавов с нужной структурой, а также в области нанесения покрытий [11]. Последнее время ведущие производители инструмента Sandvik Coromant, Secotool, Iscar и др. при точении рекомендуют скорости резания свыше 400 м/мин. Также использовать обработку без применения СОЖ, что требует активных исследований

процесса резания на новых режимах обработки с целью поиска оптимальных режимов обработки как с точки зрения качества обработанной поверхности, так и с точки зрения себестоимости изготовления.

Таблица 1 – Рекомендуемые скорости резания для современных твердых сплавов при обработке конструкционных сталей

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Скорость резания, м/мин
Группа P10	Sandvik Coromant CT5005	730–420
	Sandvik Coromant GC4235	425–180
	Korloy NC3030	400
	TaeguTec CT3000	450–100
	Seco Tools TP1500	1115–655
	Seco Tools CP500	405–240
Группа N10	Sandvik Coromant CD10	2000–500
	TaeguTec KP500	600
	Seco Tools KX	575–280

Ранее использовалась технология пооперационной обработки на различном оборудовании – токарная, фрезерная и шлифовальная обработка. Чтобы увеличить скорость обработки деталей, необходимо было проявлять больше изобретательности с точки зрения конструкции оборудования. Сегодня это применение многофункциональных станков, которые помогают их владельцам оставаться конкурентоспособными. Это станки с ЧПУ со шпинделями для обработки с противоположной стороны заготовки. Эта функциональная возможность позволила обрабатывать обе стороны детали на одном станке вместо двух. Затем производители начали производить станки с двумя противоположными шпинделями, с двумя револьверными головками и с функцией фрезерования. Часто у револьверных головок было 12 позиций, шесть из которых могли выполнять фрезеровку или сверление с мощностью примерно 2–3 кВт. Важно, что с возникновением новых материалов, позволяющих работать на более высоких скоростях обработки, появляются и станки,

позволяющие работать с частотой вращения шпинделя до 5 000 об/мин [12]. Это позволяет уменьшить время производственного цикла до 50 процентов, повысив качество и уменьшив время обработки заготовки. Стало возможным целиком изготовить деталь на одном станке. Конфигурация с двумя шпинделями и двумя револьверными головками приобрела популярность, поскольку она позволила увеличить объем производства и снизить его стоимость.

Многофункциональность имеет много преимуществ, включая сокращение времени процесса или времени цикла, затрачиваемое на производство детали от начала до конца.

Быстрое и гибкое переоснащение станка и наладка его для обработки новых деталей достигается за счет оптимизации рабочего пространства, обеспечивающей свободное перемещение всех рабочих органов, доступность для наладчика и простоту обслуживания. В случае ручной замены заготовок и инструментов также обеспечивается их легкодоступность. А при автоматизации этих функций – свободное пространство для манипулирования и гарантированная очистка элементов базирования и закрепления от загрязнения [12, 13, 14].

Возможность выполнения различных технологических операций реализуется дополнительными операциями сверления, фрезерования, нарезания резьбы, поскольку этого требуют до 80 % всех деталей после токарной операции.

Ведущие производители металлорежущего оборудования – Haas, Okuma, DMG, Mori Seiki, Gildemeister и др. – на сегодняшний день производят огромное число современных токарных станков и обрабатывающих центров [12–16]. Однако, подавляющее большинство этих станков крайне редко имеет частоту вращения шпинделя изделия больше 6 000 об/мин. К примеру, при обработке деталей диаметром до 10 мм скорость резания будет составлять около 150 м/мин, в то время как инструмент на сегодняшний день позволяет резать со скоростями свыше 400 м/мин.

Не совсем понятно, почему производители намеренно оставляют частоты вращения шпинделей токарных станков столь низкими. Давно отдельные конструктивные элементы шпиндельных узлов, а также

приводы позволяют вращаться с частотами более 10 000 об/мин. К примеру, частота вращения шпинделя современного фрезерного станка превышает 25 000 об/мин. При этом обработка деталей ведется теми же по качеству инструментальными материалами, что и при точении. Можно предположить, что это связано больше с безопасностью при работе на этом оборудовании и балансировкой элементов станка и заготовки. Ведь дисбаланс заготовки или закрепление пруткового материала могут вызывать повышенную опасность для оператора, а также разрушение частей оборудования.

Таблица 2 – Технические характеристики современных токарных станков

Название станка	Мощность главного привода, кВт	Максимальная скорость вращения шпинделя, об/мин	Максимальный диаметр обрабатываемой детали, мм
Haas OL-1	5,6	6000	125
Haas ST-10	11,2	6000	400
Okuma MULTUS B200II	7.5	6000	600
Okuma MULTUS B200II	11	5000	630
DMG Nef400	8	4500	350
DMG Nef600	28	3500	600
Mori seiki NLX 2500/750	15	3500	360

При точении деталей малых диаметров скорость съема в большей степени зависит от скорости резания, чем от подачи и глубины [6]. Это связано, прежде всего, с низкой жесткостью деталей. При значительном увеличении скорости вращения заготовки ряд процессов, происходящих в станке, таких, как дисбаланс вращающихся частей, биение шпинделя, прерывистость передачи вращения в кинематических цепях, оказывают влияние на качество обработки [6, 17].

Для качественного увеличения скорости обработки деталей малых диаметров необходимо обеспечить: режущий инструмент и оборудование должны быть работоспособными при требуемых скоростях резания;

влияние собственных колебаний оборудования на процесс резания должно быть минимальным; динамические характеристики исполнительных органов должны обеспечивать точную и синхронную работу.

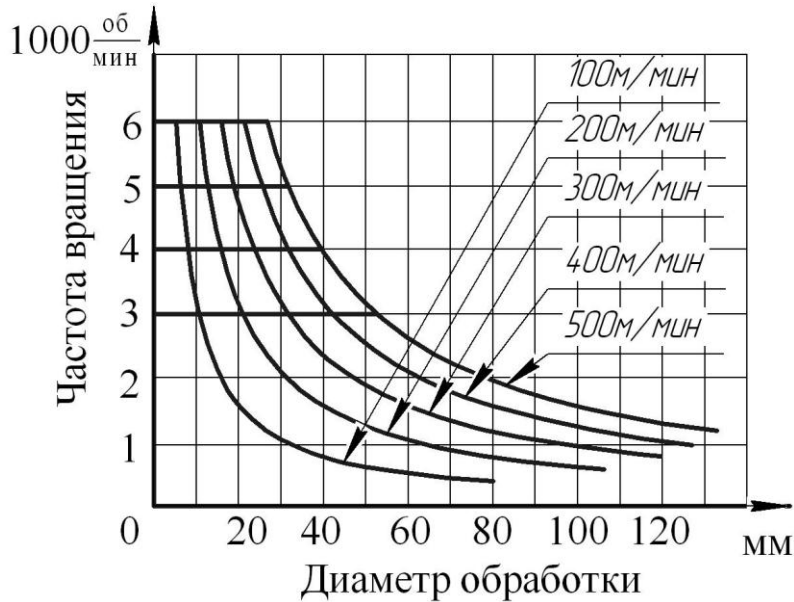


Рисунок 1 – Зависимость скорости резания от частоты вращения шпинделя и диаметра обрабатываемой детали

Чтобы качественно увеличить производительность обработки мелких деталей, необходимо научиться управлять динамическими процессами, которые происходят в технологической системе при высоких скоростях резания и высоких частотах обработки, что является актуальной и своевременной задачей для исследователей.

На рисунке 1 видно, что при точении деталей диаметром менее 20 мм максимально достижимая скорость резания ориентировочно составляет 400 мм/мин для большинства современных станков с максимальной частотой вращения 5 000–6 000 об/мин. Производительность обработки значительно снижается с увеличением диаметра (рис.2). Если принять подачу на оборот постоянной из условия жесткости детали, для каждого станка есть предельное значение производительности, которое связано с максимальными оборотами шпинделя. Производительность обработки, если не учитывать вспомогательного времени, значительно зависит и от минутной подачи. Если подача на оборот достигнет некоторого максимального критического

значения, то производительность также в значительной мере будет зависеть от частоты вращения заготовки (рис. 2).

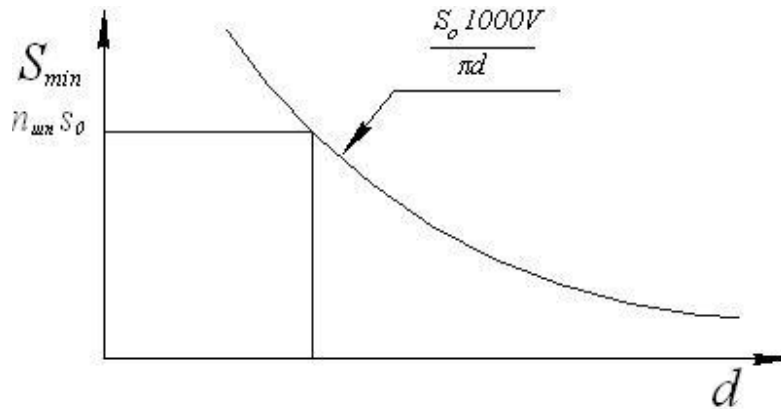


Рисунок 2 – Влияние диаметра детали на производительность обработки (при условии $S_0 = const$)

При обработке деталей с очень маленькой скоростью резания твердосплавным инструментом очень часто происходит хрупкое разрушение режущей кромки. Такое же явление наблюдается при отрезании, когда режущая кромка скалывается при достижении центра детали. Современный инструмент имеет зону режимов резания, при которых его стойкость будет оптимальной [8–10]. Выход за пределы режимов в сторону уменьшения приводит к уменьшению стойкости из-за разрушения кромки. При значительном увеличении режимов происходит истирание инструментального материала и также уменьшение стойкости (рис. 3). При точении деталей малого диаметра нужно обеспечить режимы резания таким образом, чтобы они были оптимальными для данного вида инструментального материала и находились в пределах технологических возможностей оборудования.

Одна из самых сложных задач, которую необходимо решить при увеличении скоростей обработки, – это появление автоколебаний в системе станок – приспособление – инструмент – заготовка. Многие ученые – В.А. Кудинов [17], J. Tlustý [18], И.Г. Жарков [19], М.Е. Эльясберг [20], С.С. Кедров [21], Н.И. Ташлицкий [22], S. Doi & S. Kato [23], М. Esser [24], Ю.Н. Внуков [25] провели ряд исследований по влиянию автоколебаний при резании на качество обрабатываемой детали.

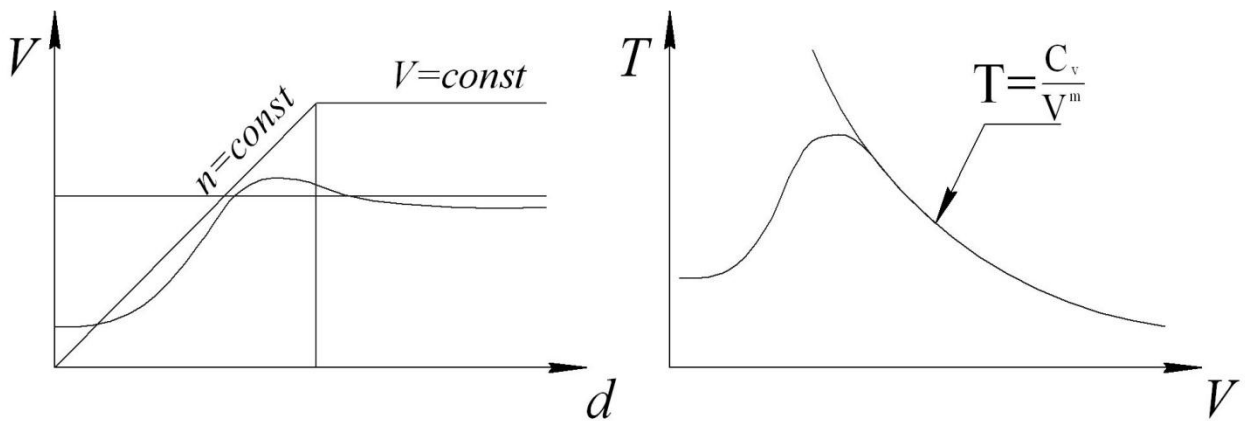


Рисунок 3 – Стойкость инструмента в зависимости от скорости резания

Известно как положительное, так и отрицательное действие колебаний при резании. При определенной амплитуде колебания, возникающие в процессе резания так же, как и специально вводимые в зону резания вынужденные колебания, приводят к облегчению пластической деформации, уменьшению коэффициента трения по передней и задней поверхностям инструмента, улучшению отвода стружки, к заметному снижению силы резания, к уменьшению адгезионных явлений и, как результат этого, – к уменьшению интенсивности изнашивания инструмента и повышению его стойкости [19].

С другой стороны, циклическое нагружение инструмента при увеличении амплитуды автоколебаний вызывает усталостное разрушение режущих кромок инструмента, находящегося в контакте с изделием и сходящей стружкой. Поэтому при превышении амплитудой колебаний некоторого предельного значения стойкость инструмента начинает быстро снижаться [19]. Следует также учитывать, что при увеличении амплитуды колебаний существенно увеличивается длина пути, пройденная инструментом по изделию, а следовательно, и износ инструмента по задним и передним поверхностям [19]. Однако при чистовой обработке любых материалов любые колебания оказывают отрицательное влияние на качество поверхности. Поэтому основное направление исследований должно проводиться в направлении поиска зон устойчивого резания.

Также в работах [26–30] ученые занимаются поиском зон устойчивого резания и влияния автоколебаний на качество поверхности. Однако большинство исследований проводится в зоне частот вращения до 3 000 об/мин. Лишь в работах Chigbogu Godwin Ozoegwua [26] исследования проводились для частот свыше 5 000 об/мин.

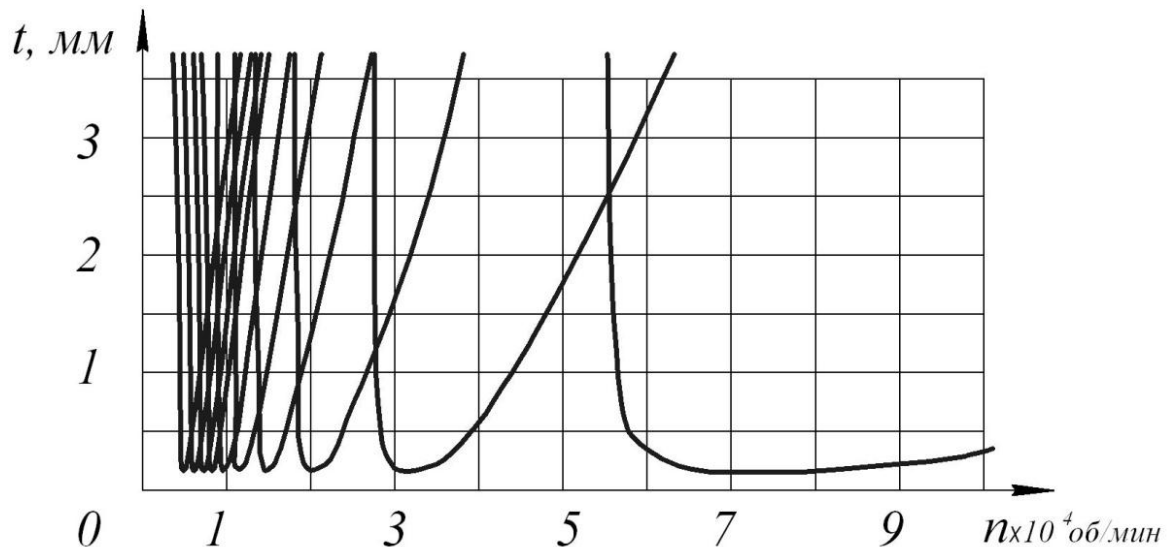


Рисунок 4 – Диаграмма устойчивости токарного станка (пример)

Пример кривых устойчивости технологической системы к автоколебаниям показан на рис. 4 [26]. Кривые показывают границу устойчивости технологической системы в зависимости от частоты вращения и глубины резания. Если назначить режимы обработки ниже характерных кривых, получим гарантировано устойчивое резание. Для существенного повышения производительности необходимо точно знать положение и форму кривых согласно диаграмме устойчивости конкретного оборудования. При увеличении частоты вращения видно увеличение области устойчивого резания.

Выводы. Современные достижения в области изготовления режущего инструмента позволяют производить обработку с достаточно высокими скоростями резания. Однако большинство токарных станков и обрабатывающих центров не могут работать с такими частотами вращения детали, при которых можно обеспечить оптимальные режимы резания для

обработки деталей диаметром меньше 20 мм. Это ограничивает ресурс режущего инструмента из современных материалов.

Повышение производительности деталей малых диаметров невозможно по нескольким причинам. Это малые значения максимальных частот вращения шпинделей токарных станков для достижения оптимальных скоростей резания современных инструментальных материалов, а также возбуждение автоколебаний технологической системы при высоких частотах вращения шпинделей станков.

Потенциальными резервами повышения производительности являются способность современных инструментальных материалов резать с высокой скоростью, техническая возможность изготовления высокоскоростных шпинделей токарных станков.

Список использованных источников: 1. Ситніченко В. Стратегія розвитку машинобудування на основі системи збалансованих показників, / В. Ситніченко.— Одеса. 2. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой, Б. М. Аскинази.— М.: Машиностроение, 1989.— 197 с. 3. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей./ А. П. Бабичев.— М.: Машиностроение, — 1974. — 136 с. 4. Безъязычный В. Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин. / В. Ф. Безъязычный // Инженерия поверхности. Приложение к журналу: Справочник. Инженерный журнал. — 2001. — № 4. — С. 9–17. 5. Бурлаченко О. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств сопряжений оборудования на основе системы комплексных воздействий: дис. д-ра техн. наук. / О. В. Бурлаченко Саратов, 2004. — 354 с. 6. Основы теории резания материалов : учебник [для высш. учебн. заведений] / Н.П. Мазур, Ю.Н. Внуков, А.И. Грабченко и др.; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. — 534 с. 7. Залого В.А. Курс лекций "Инструментальные материалы для лезвийных инструментов" [Текст] : учеб. пос. Раздел "Инструментальные материалы" / В.А. Залого. — Сумы: СумГУ, 2007. — 205 с. — 16-45. 8. Sandvik Coromant [Официальный сайт]. — URL : <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>. 9. Seco Tool [Официальный сайт]. — URL : <http://www.secotools.com/ru>. 10. TaeguTec [Официальный сайт]. — URL : <http://www.taegutec.com.ua/>. 11. Sandvik Coromant [Официальный сайт]. — URL : <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/campaigns/gc4325/Pages/default.aspx>. 12. Развитие современных станков [Электронный ресурс]. — URL: <http://mehanit.ru/novosti/razvitie-stankov.php>. 13. Каталог станков Haas [Официальный сайт]. — URL: <http://int.haascnc.com/home.asp?intLanguageCode=1049>. 14. Каталог станков Okuma [Официальный сайт]. — URL : http://okuma-russia.ru/tokarnie_centri.htm. 15. Каталог станков DMG [Интернет-портал]. — URL: <http://sibsapr.ru/>. 16. Каталог станков Mori Seiki [Официальный сайт]. — URL: <http://ru.dmgmori.com/>. 17. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. — М.: Машиностроение, 1967. — 367 с. 18. Тлустый И. Автоколебания в металлорежущих станках / И. Тлустый. — М.:

Машгиз, 1956. – 359 с. **19.** *Жарков И.Г.* Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. –184 с. **20.** *Эльясберг М.Е.* Автоколебания металлорежущих станков: Теория и практика / М. Е. Эльясберг. – СПб.: ОКБС, 1993. – 180 с. **21.** *Кедров С. С.* Колебания металлорежущих станков / С. С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 198 с. **22.** *Ташлицкий Н. И.* Первичный источник энергии возбуждения автоколебаний при резании металлов / Н. И. Ташлицкий //Вестник машиностроения. – 1960. – № 2. – С. 10–20. **23.** *Doi S., Kato S.* Chatter vibration of lathe tools//Trans. ASME. -1956. – № 78. –С. 1127–1134. **24.** *Brecher C., Witt S. , Esser M.* Simulation of the Process Stability of HPC Milling Operations under Consideration of the nonlinear Behaviour of the Machine Tool and the Cutting Process//Annals of CIRP. - 2007. - С. 211- 219. **25.** *Кучугуров М.В., Внуков Ю.Н., Дядя С.И.,* Способ и устройство для исследования регенеративных автоколебаний при точении / М.В. Кучугуров, Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя. // Резание и инструмент в технологических системах . – 2013. – №83. – С.42-54. **26.** *Chigbogu Godwin Ozoegwu* Stabilizing wave attenuation effects in turning process <http://www.tandfonline.com/loi/tpmr20>. **27.** *Chigbogu G. Ozoegwu, Sam N.* Omenyi Time Domain Chatter Stability Comparison of Turning and Milling Processes INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY SCIENCES AND ENGINEERING, VOL. 3, NO. 11, NOVEMBER 2012. **28.** *George W.* THE PREDICTION OF CHATTER STABILITY IN HARD TURNING, In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, 2004. **29.** *Andreas Ottoa,* , G.unter Radonsa* Application of Spindle Speed Variation for Chatter Suppression in Turning Institute of Physics, Chemnitz University of Technology, 09107 Chemnitz, Germany December 21, 2012. **30.** *Iker Mancisidor, Rafael Barcena, Jokin Munoa, Ainhoa Etxebarria.* Design of a bench hardware-in-the-loop system for the study of chatter in turning 2013 European Control Conference (ECC) July 17-19, 2013, Zurich, Switzerland.

Bibliography (transliterated): **1.** *Sitnichenko V.* Strategija rozvitku mashinobuduvannja na osnovi sistemi zbalansovanih pokaznikov, / V. Sitnichenko.– Odesa. **2.** *Askinazi B.M.* Uprochnenie i vosstanovlenie detalej mashin jelektromehaničeskoj obrabotkoj, B.M. Askinazi. – М.: Mashinostroenie, 1989.– 197 s. **3.** *Babichev A.P.* Vibracionnaja obrabotka detalej./ A.P. Babichev.– М.: Mashinostroenie, – 1974. – 136 s. **4.** *Bez#jazychnyj V.F.* Vlijanie kachestva poverhnostnogo sloja posle mehanicheskoj obrabotki na jekspluatacionnye svojstva detalej mashin. / V.F. Bez#jazychnyj // Inzhenerija poverhnosti. Prilozhenie k zhurnalu: Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. – 2001. – № 4. – S. 9–17. **5.** *Burlachenko O.V.* Tehnologičeskoe obespečenie jekspluatacionnyh svojstv soprjazhenij oborudovanija na osnove sistemy kompleksnyh vozdejstvij: dis. d-ra. tehn. nauk. / O.V. Burlachenko Saratov, 2004. – 354 s. **6.** *Osnovy teorii rezanija materialov : uchebnik [dlja vyssh. uchebn. zavedenij] / N.P. Mazur, Ju .N. Vnukov, A.I. Grabchenko i dr. ; pod obshh. red. N.P. Mazura i A.I. Grabchenko. – 2-e izd., pererab. i dop. – Har'kov: NTU «HPI», 2013. – 534 s.* **7.** *Zaloga V.A.* Kurs lekcij "Instrumental'nye materialy dlja lezvijnyh instrumentov" [Tekst]: ucheb. pos. Razdel "Instrumental'nye materialy" / V. A. Zaloga. — Sumy: SumGU, 2007. — 205 s. — 16-45. **8.** *Sandvik Coromant* [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>. **9.** *Seco Tool* [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.secotools.com/ru>. **10.** *TaeguTec* [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.taegutec.com.ua/>. **11.** *Sandvik Coromant* [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/campaigns/gc4325/Pages/default.aspx>. **12.** *Razvitie sovremennyh stankov* [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://mehanit.ru/novosti/razvitie-stankov.php>. **13.** *Katalog stankov Haas*

[Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://int.haascnc.com/home.asp?intLanguageCode=1049>.

14. Katalog stankov Okuma [Oficial'nyj sajt]. – URL : http://okuma-russia.ru/tokarnie_centri.htm. **15.** Katalog stankov DMG [Internet-portal]. – URL: <http://sibsapr.ru/>. **16.** Katalog stankov Mori Seiki [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://ru.dmgmori.com/>. **17.** *Kudinov V.A.* Dinamika stankov / V.A. Kudinov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 367 c. **18.** *Tlustyj I.* Avtokolebanija v metallovezhushhijh stankah / I. Tlustyj. –M.: Mashgiz, 1956. – 359 c. **19.** *Zharkov I.G.* Vibracii pri obrabotke lezviynym instrumentom / I.G. Zharkov. – L.: Mashinostroenie, 1986. –184 c. **20.** *Jel'jasberg M.E.* Avtokolebanija metallovezhushhijh stankov: Teorija i praktika / M. E. Jel'jasberg. – SPb. : OKBS, 1993. – 180 c. **21.** *Kedrov S.S.* Kolebanija metallovezhushhijh stankov / S.S. Kedrov. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 198 c. **22.** *Tashlickij N.I.* Pervichnyj istochnik jenerгии vzbuzhdenija avtokolebanij pri rezanii metallov / N.I. Tashlickij //Vestnik mashinostroenija. – 1960. – № 2. – С. 10–20. **23.** *Doi S., Kato S.* Chatter vibration of lathe tools//Trans. ASME. -1956. - № 78. –С. 1127–1134. **24.** *Brecher C., Witt S , Esser M.* Simulation of the Process Stability of HPC Milling Operations under Consideration of the nonlinear Behaviour of the Machine Tool and the Cutting Process//Annals of CIRP. - 2007. - С. 211- 219. **25.** *Kuchugurov M.V., Vnukov Ju.N., Djadja S.I.,* Sposob i ustrojstvo dlja issledovanija regenerativnyh avtokolebanij pri tochenii / M. V. Kuchugurov, Ju. N. Vnukov, S. I. Djadja. // Rezanie i instrument v tehnologicheskijh sistemah . – 2013. – №83. – S.42-54. **26.** Chigbogu Godwin Ozoegwu Stabilizing wave attenuation effects in turning process <http://www.tandfonline.com/loi/tpmr20>. **27.** *Chigbogu G. Ozoegwu, Sam N.* Omenyi Time Domain Chatter Stability Comparison of Turning and Milling Processes INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY SCIENCES AND ENGINEERING, VOL. 3, NO. 11, NOVEMBER 2012. **28.** *George W.* THE PREDICTION OF CHATTER STABILITY IN HARD TURNING, In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, 2004. **29.** *Andreas Ottoa,**, G.unter Radonsa Application of Spindle Speed Variation for Chatter Suppression in Turning Institute of Physics, Chemnitz University of Technology, 09107 Chemnitz, Germany December 21, 2012. **30.** *Iker Mancisidor, Rafael Barcena, Jokin Munoa, Ainhoa Etxebarria.* Design of a bench hardware-in-the-loop system for the study of chatter in turning 2013 European Control Conference (ECC) July 17-19, 2013, Zurich, Switzerland.