

УДК 621.9.02

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАМ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ СБОРНЫМИ СВЕРЛАМИ

М. И. МИХАЙЛОВ, Е. В. ДЕМЧУК

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: сборные сверла, обработка, динамика, производственные исследования.

Введение

Раскрытие физических причин возмущения вибраций технологических систем при резании металлов привлекало пристальное внимание исследователей многие годы с самого начала развития науки о резании.

Следует отметить, что хотя до настоящего времени нет единого мнения по вопросу возникновения и развития автоколебаний при резании, большинство научных школ и ученых склонны считать причинами возмущения автоколебаний элементов технологической системы не одно, а несколько физических явлений, которые могут действовать одновременно или отдельные из этих явлений могут доминировать. Это зависит от конкретных условий и состояния упругой системы «станок–приспособление–инструмент–деталь» (СПИД), прежде всего жесткости и демпфирующей способности элементов системы, прочности и пластичности обрабатываемого материала, вида обработки, режимов резания и т. д.

Физический механизм возмущения автоколебаний действует приблизительно в следующей последовательности.

Любое случайное возмущение (толчок), каких много в реальной системе (это резание или выход режущих лезвий из контакта с изделием, неравномерность припуска, неоднородность обрабатываемого материала, прерывистость обработки, радиальное биение заготовки или инструмента и др.), приводит к возникновению собственных затухающих колебаний технологической системы. Эти колебания всегда сопровождаются изменением сечения среза (чаще только толщины среза a) и скорости резания v (или скорости скольжения стружки по передней поверхности инструмента), так как зона резания является замыкающим звеном упругой технологической системы. Изменение толщины среза a и скорости резания v всегда приводит к соответствующему изменению силы резания и ее составляющих. И если изменение силы резания отстает во времени (сдвинуто по фазе) на величину τ относительно изменения толщины среза или если с увеличением скорости происходит уменьшение радиальной составляющей силы резания (падающая характеристика силы резания от скорости), то собственные затухающие колебания могут перейти в незатухающие автоколебания, где энергию, необходимую для поддержания колебаний, создает переменная сила резания. Эти два фактора – отставание изменения силы резания от изменения толщины среза (или фазовая характеристика силы резания) m и падающая характеристика силы резания (или трения) от скорости и являются основными первичными источниками возбуждения автоколебаний. Впервые на автоколебательный

характер вибраций при резании металлов было указано в работе Н. А. Дроздова [1], где он установил, что максимум энергии, идущей на поддержание автоколебаний, поступает в систему в том случае, если сдвиг фаз между колебанием силы резания и колебанием системы достигает величины $\varphi = 90^\circ$ (в угловых единицах 1,57 рад).

В. А. Кудинов впервые в работе [2] ввел понятие динамической характеристики резания как элемента динамической системы станка, представляющей собой зависимость изменения силы резания от вызвавшего это изменение относительного смещения заготовки и инструмента, принципиально новое понятие постоянной времени стружкообразования T_p , указав на ее прямую зависимость от размера усадки и обратную зависимость от скорости резания. Автор указывает, что сила резания отстает по фазе от изменения толщины срезаемого слоя. Применительно к автоколебаниям при резании это означает, что сила резания совершает работу, идущую на возбуждение колебаний.

Отставание изменения силы резания от изменения толщины среза в качестве основной причины возбуждения автоколебаний принимают в своих работах также Л. К. Кучма [3], [4], Н. И. Ташлицкий [5], М. Е. Эльясберг [6], В. Л. Заковоротный [7] и зарубежные исследователи Г. Буйсроид, С. Ф. Сарникола [8], Н. Ота, К. Коно [9], Сридхар Хон Лонг [10] и др.

Падающая зависимость силы резания (или силы трения стружки о переднюю поверхность инструмента) от скорости резания в качестве основной причины первичного возбуждения автоколебаний впервые была принята А. И. Кашириным в работе [11], где он указывает и на другие причины возбуждения колебаний. Такого же мнения на природу возбуждения автоколебаний придерживаются В. В. Заре, Л. С. Мурашкин, С. Л. Мурашкин [12] и др.

Следует, однако, отметить, что падающая характеристика силы резания от скорости экспериментально установлена при стационарных режимах обработки. В случае быстрого изменения скорости при колебаниях силы резания изменяются значительно меньше, чем при стационарном резании на соответствующих скоростях. Это объясняется тем, что скорость влияет непосредственно не на силу резания, а на температуру в зоне резания, усадку стружки, ее контактное взаимодействие с резцом и другие явления, вызывающие изменение силы резания. Вследствие инерционности тепловых процессов при быстром изменении (колебании) скорости, как это имеет место при вибрациях, устанавливается некоторая мало меняющаяся средняя температура и соответствующая ей пластическая зона, а следовательно, и мало меняющаяся сила резания. Таким образом, несмотря на то, что скорость резания оказывает большое влияние на процесс резания и состояние пластической зоны, быстрое ее изменение при малых относительных смещениях инструмента и заготовки оказывает несущественное влияние на силу резания, и только при значительных изменениях скорости резания (больших амплитудах колебаний) ее влияние на силу резания может стать существенным.

Кроме рассмотренных двух основных причин первичного возбуждения автоколебаний существует еще ряд второстепенных менее значительных, которые только при определенных условиях могут влиять на интенсивность автоколебаний. К ним относятся такие причины, как изменение рабочих углов инструмента при колебаниях, неоднозначность сил резания при врезании инструмента в металл и при отходе инструмента и работе по наклепанному слою, депланация (искривление) поперечного сечения при кручении некруглых стержней (метчиков, сверл, зенкеров, расточных оправок и других инструментов).

Вторичное возбуждение автоколебаний наступает при работе по волнообразному следу, оставленному на поверхности резания инструментом при предыдущем обороте (для однолезвийных инструментов) или при проходе предыдущего зуба инструмента (для многолезвийных инструментов). Вследствие того, что почти все реальные процессы резания идут при работе по следу, то вторичное возбуждение усиливает интенсивность колебаний и так называемые установившиеся автоколебания наступают после 5–10 оборотов (для однолезвийных инструментов) или после прохода 8–20 зубьев (для многолезвийных инструментов).

Необходимо отметить, что ни в реальных процессах, ни при расчете на ЭВМ никогда не наблюдаются установившиеся автоколебания в полном смысле этого слова. Автоколебания, как правило, происходят с периодическим более или менее значительным изменением амплитуд, т. е. имеют форму биений.

На автоколебания при резании в некоторой степени влияет собственная неустойчивость процесса резания: периодические срывы наростов, образование и скалывание элементов стружки, схватывание и налипание по задним поверхностям инструмента и другие явления, сопровождающие процесс резания. Все эти явления, хотя и нарушают общую устойчивость процесса резания, происходят с частотой, существенно отличающейся от частоты автоколебаний. Частота установившихся автоколебаний всегда близка к собственной частоте доминирующей колебательной системы или несколько ее превышает вследствие нагружения системы при резании и повышения ее жесткости (а следовательно, и частоты).

При любых условиях обработки четко прослеживаются как минимум две частотные составляющие: одна – с частотой, близкой к собственной частоте системы «шпиндель–заготовка», другая – к собственной частоте системы инструмента [13], [14]. Влияние условий резания сказывается на уровне размаха колебаний и их частотных составляющих.

Целью работы является повышение точности обработки и стойкости сборных сверл.

Основная часть

Эксперименты проводились сборным сверлом $\varnothing 25$ мм с механическим креплением сменной многогранной пластины (СМП) из твердого сплава марки Z9 с покрытием TiCN (аналогичного сплаву 4215, применяющемуся на базовой конструкции сверла (рис. 1)).

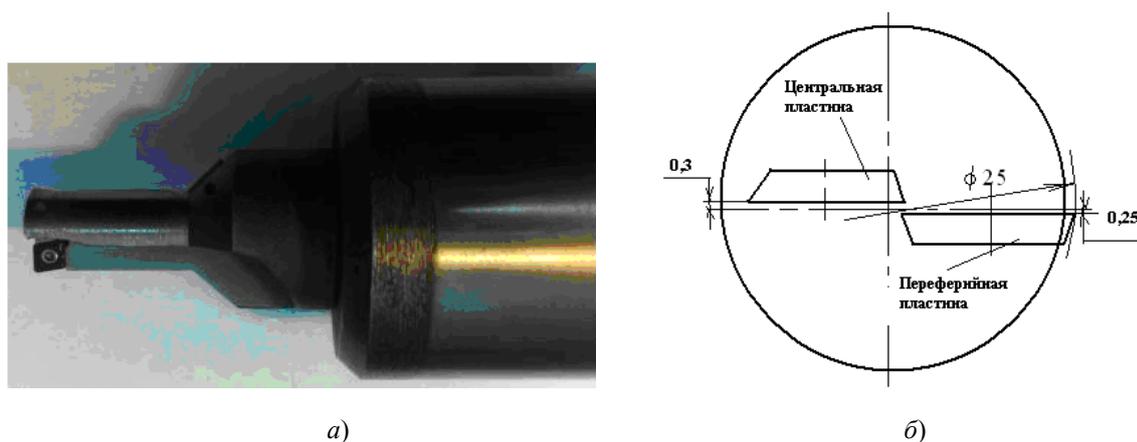


Рис. 1. Конструкция сверла: а – общий вид сверла в оправке; б – расположения СМП в корпусе

В ходе исследования обрабатываемая деталь устанавливается в приспособление на столе станка. Деталь фиксируется в приспособлении при помощи поворотных механизмов, управляемых с пульта (рис. 2).

Исследование вибраций детали из стали 40Л в переходном процессе при обработке сборными сверлами производилось на следующих режимах: частоте вращения $n = 2400$ об/мин; подаче $s = 0,3$ мм/об.



Рис. 2. Рабочее место производственных исследований: а – общий вид; б – место установки датчика виброускорений: 1 – исследуемая рама; 2 – датчик виброускорений; 3 – шпиндельная бабка станка

Для измерения уровней вибрации использовался анализатор спектров модель 2900 (фирма «Ларсон и Девис») и датчик ускорения фирмы «Ларсен и Девис» типа РСВ 353 М198 чувствительностью 100 мВ/(м/с²).

Замеры уровней вибрации проводились в трех направлениях (вертикальном, продольном, поперечном). При этом на анализаторе установлены следующие настройки: усреднение сигнала – экспоненциальное, время усреднения 1/8 с, при БПФ анализе – окно Хеннинга. При переводе м/с² в дБ опорный уровень взят $3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

Результаты измерений приведены на рис. 3–8 и в табл. 1–3.

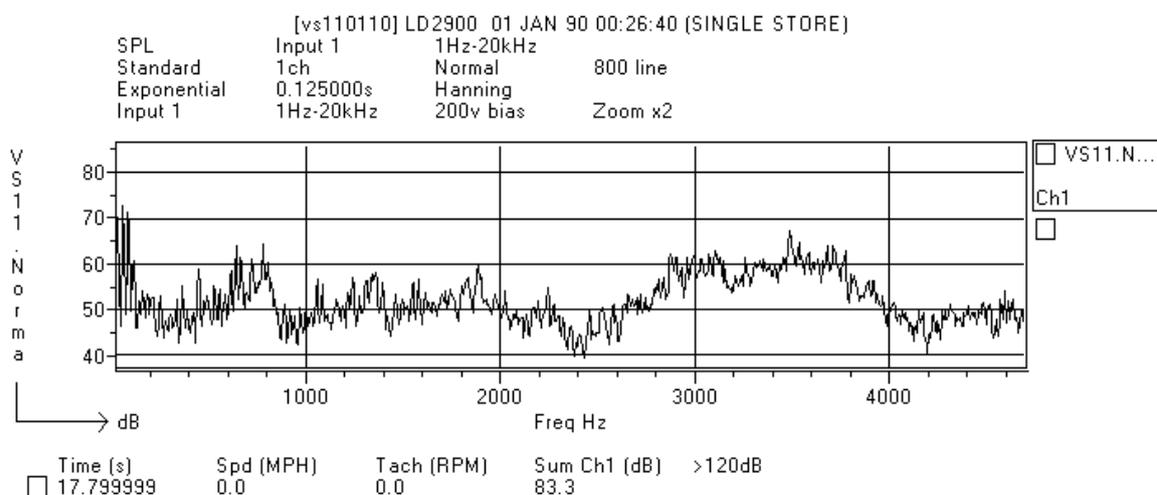


Рис. 3. Спектр виброускорения на раме автомобиля в вертикальном направлении (верхний диапазон 5000 Гц)

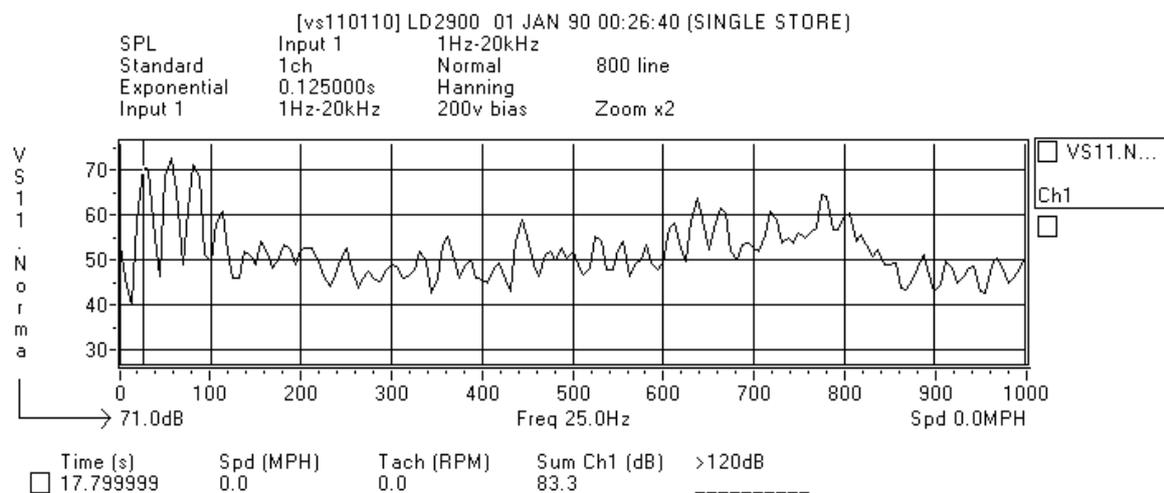


Рис. 4. Спектр виброускорения на раме автомобиля в вертикальном направлении (верхний диапазон 1000 Гц)

Таблица 1

Уровни виброускорения на раме автомобиля в вертикальном направлении в момент фиксации максимального уровня вибрации (СКЗ) при одном проходе сверла

Уровни вибрации	Среднегеометрическая частота октавы, Гц										Суммарный уровень (СКЗ)
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
дБ	35,4	37,7	35,0	36,8	75,4	80,1	73,3	70,6	77,2	78,4	92,0
м/с ²	0,02	0,02	0,02	0,02	1,8	3,09	1,41	1,04	2,22	2,54	12,17

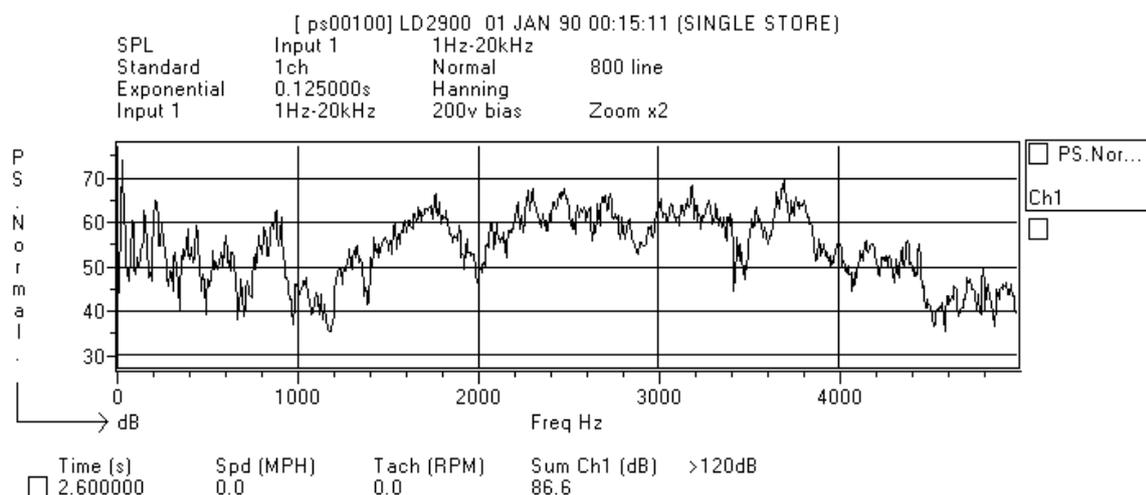


Рис. 5. Спектр виброускорения на раме автомобиля в поперечном направлении (верхний диапазон 5000 Гц)

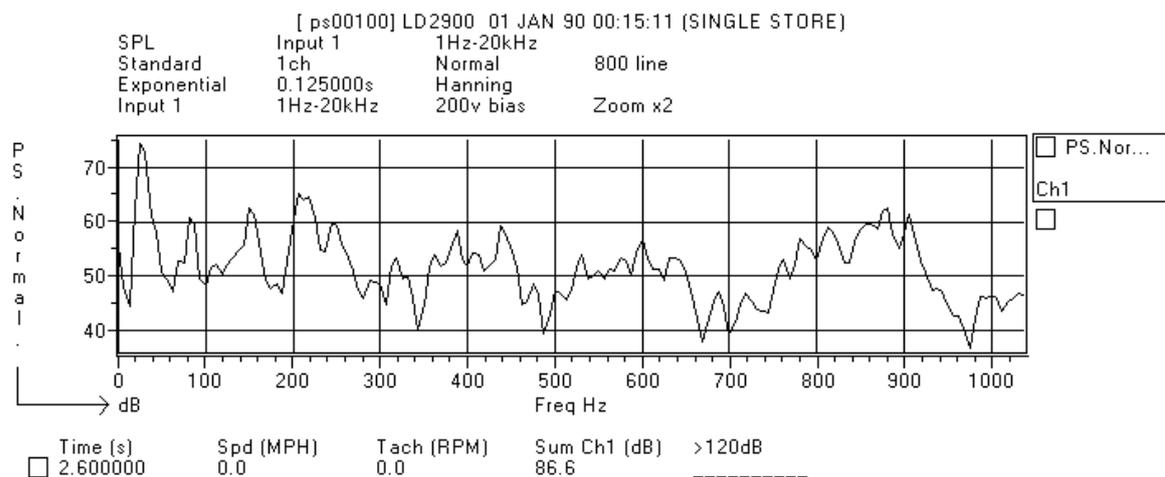


Рис. 6. Спектр виброускорения на раме автомобиля в поперечном направлении (верхний диапазон 1000 Гц)

Таблица 2

Уровни виброускорения на раме автомобиля в поперечном направлении в момент фиксации максимального уровня вибрации (СКЗ) при одном проходе сверла

Уровни вибрации	Среднегеометрическая частота октавы, Гц										Суммарный уровень (СКЗ)
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
дБ	35,2	36,7	35,2	50,6	87,3	74,2	71,2	66,9	72,2	85,1	91,2
м/с ²	0,02	0,02	0,02	0,10	7,09	1,57	1,11	0,68	1,25	5,50	11,10

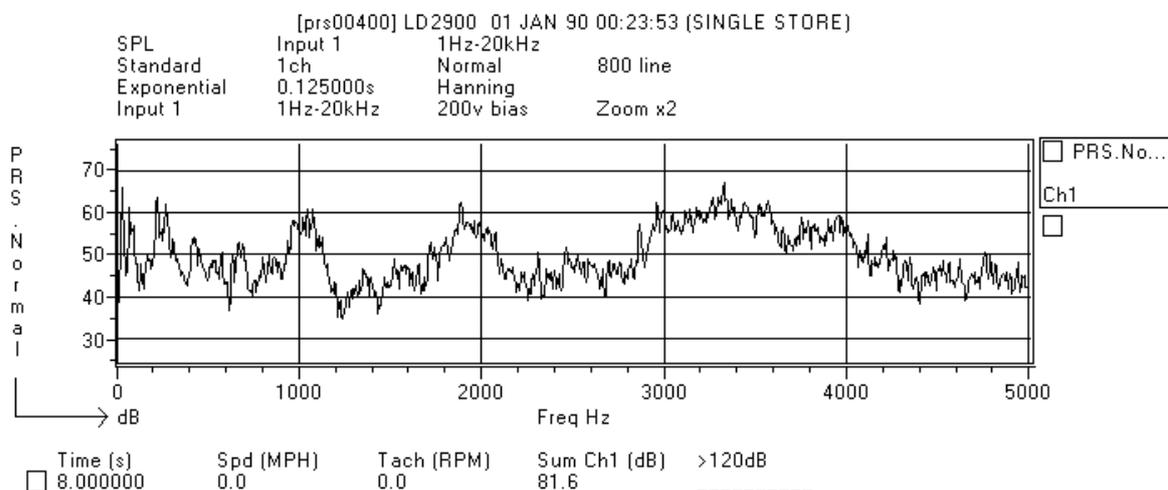


Рис. 7. Спектр виброускорения на раме автомобиля в продольном направлении (верхний диапазон 5000 Гц)

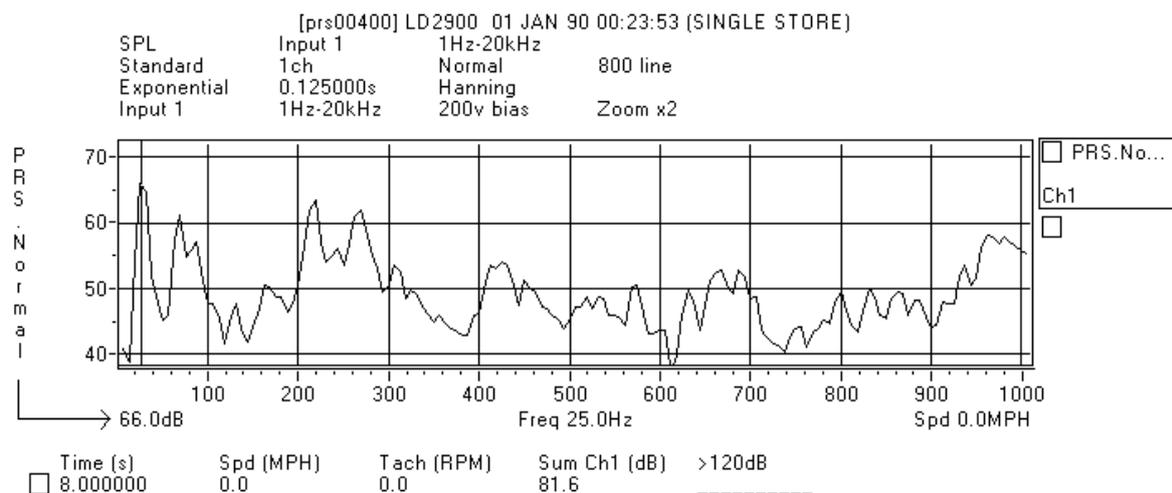


Рис. 8. Спектр виброускорения на раме автомобиля в продольном направлении (верхний диапазон 5000 Гц)

Таблица 3

**Уровни виброускорения на раме автомобиля в продольном направлении
 в момент фиксации максимального уровня вибрации (СКЗ)
 при одном проходе сверла**

Уровни вибра- ции	Среднегеометрическая частота октавы, Гц										Суммар- ный уро- вень (СКЗ)
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
дБ	32,7	32,8	37,1	41,9	67,5	63,8	55,6	64,3	65,5	76,1	91,8
м/с ²	0,01	0,01	0,02	0,04	0,73	0,47	0,18	0,50	0,58	1,95	11,90

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет заключить, на всех спектрах виброускорений присутствует частота, соответствующая частоте вращения сверла 25 Гц и ее гармоники.

Литература

1. Дроздов, Н. А. К вопросу о вибрациях станка при токарной обработке / Н. А. Дроздов // Станки и инструмент. – 1937. – № 22. – С. 21–25.
2. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. – 357 с.
3. Кучма, Л. К. Экспериментальное исследование вибраций при резании на токарном станке / Л. К. Кучма. – В кн.: Новые исследования в области резания металлов. – М. ; Л. : Машгиз, 1948. – С. 100–128.
4. Кучма, Л. К. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения / Л. К. Кучма. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 122 с.
5. Ташлицкий, Н. И. Первичный источник энергии возбуждения автоколебаний при резании металлов / Н. И. Ташлицкий // Вестн. машиностроения. – 1960. – № 2. – С. 45–50.
6. Эльязберг, М. Е. К теории и расчету устойчивости процесса резания металла на станках / М. Е. Эльязберг // Станки и инструмент. – 1972. – № 1. – С. 1–7.

7. Заковоротный, В. Л. Исследование динамической характеристики резания при автоколебаниях инструмента / В. Л. Заковоротный // Изв. техн. науки. – Ростов : Ростов. ин-т с.-х. машиностроения, 1976. – С. 37–44.
8. Бурмистров, Е. В. Производительные способы нарезания резьбы метчиками в жаропрочных и титановых сплавах / Е. В. Бурмистров, Э. А. Михайлюк // Вестн. машиностроения. – 1967. – № 4. – С. 68–71.
9. Ота, Н. О самовозбуждающихся вибрациях станка или обрабатываемой детали, вызванных регенеративным влиянием следа и запаздыванием / Н. Ота, К. Коно // Конструирование и технология машиностроения : тр. американ. общ-ва инж.-механиков. – М. : Мир, 1974. – № 4. – С. 246–257.
10. Сридхар, Х. Л. К вопросу об автоколебаниях в металлорежущих станках / Х. Л. Сридхар // Конструирование и технология машиностроения : тр. американ. об-ва инж.-механиков. – М. : Мир, 1973. – № 2. – С. 141–146.
11. Каширин, А. И. Исследования вибраций при резании металлов / А. И. Каширин. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1944. – 262 с.
12. Мурашкин, Л. С. Прикладная нелинейная механика станков / Л. С. Мурашкин, С. Л. Мурашкин. – Л. : Машиностроение, 1977. – 192 с.
13. Васин, С. А. Динамика фрезерования концевыми фрезами / С. А. Васин. – Тула : ТулГУ, 2000. – 106 с.
14. Васин, С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании / С. А. Васин. – М. : Машиностроение, 2006. – 384 с.

Получено 01.06.2017 г.