

УДК 67.05

UDC 67.05

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ “ПИЛА-НАПРАВЛЯЮЩАЯ ПИЛА” НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ ЛЕНТОЧНЫМИ ПИЛАМИ****THE ESTIMATION OF THE IMPACT OF THE "SAW-SAW GUIDE" RESONANT FREQUENCY SYSTEM ON THE PROCESS OF CUTTING WITH BANDSAWS**

Литвинов Артем Евгеньевич  
к.т.н., ст. преподаватель  
*Кубанский Государственный Технологический  
Университет, Краснодар, Россия*

Litvinov Artem Evgenevich  
Cand.Tech.Sci., senior lecturer  
*Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia*

В статье представлены результаты исследований динамических явлений, вызванных процессом резания ленточной пилой, установлены зоны, в которых возникает резонанс, который негативно влияет на работу ленточнопильного станка в целом

The article presents the results of studies of dynamic phenomena caused by the process of cutting band saw and clarified the zones in which resonance occurs, which negatively affects the overall bandsaw

Ключевые слова: ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫЙ СТАНОК, ПИЛА, НАПРАВЛЯЮЩИЕ, РЕЗОНАНС, УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ, УСИЛИЕ НАТЯЖЕНИЯ

Keywords: BANDSAW MACHINE, BAND SAW, RAIL, RESONANCE, CUTTING FORCE, TENSION FORCE

Исследования проводились с целью подтверждения идеи о том, что усилие натяжения является важнейшим фактором, влияющим на увод пилы от перпендикулярности реза, вызывающим резонансные явления и определяющим устойчивость процесса резания в целом.

До сих пор считалось, что определяющими факторами увода является развод зубьев пилы. Вследствие несимметричности развода и возникающего при этом перекручивания участков пилы следует учитывать три фактора: действительную величину развода отдельных зубьев, разницу между величиной развода вправо и влево, а также размер и характер скручивания зубьев. Все три фактора воздействуют на увод [1,2]. При этом следует учитывать, что при современных способах изготовления ленточных пил изготавливаются сравнительно одинаково разведенные пилы. Однако, пилы также могут изготавливаться с отклонением в  $1^\circ$  и более, что приводит к значительному уводу [3]. Эксперименты по оценке влияния натяжения пилы проводились на станке КСА 8532, при порезке заготовки из стали 45 диаметром 210 мм. Параметры работы станка были следующими: скорость составила 60 м/мин, время одного реза 8 мин.,

производительность 43 см<sup>2</sup>/мин., при использовании надлежащим образом приработанной пилы. Эксперимент проводился следующим образом: после установки заготовки и настройки станка было произведено по 3 реза с усилием натяжения 100, 120, 200, 250 и 300 Н/мм<sup>2</sup>. Далее эксперимент был повторно проведен на уже изношенной пиле, но до момента наступления катастрофического износа (увод пилы более 1 мм на 100 мм плоскости резания). Результаты эксперимента приведены на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 Зависимость увода пилы от натяжения для состояния приработанной пилы.

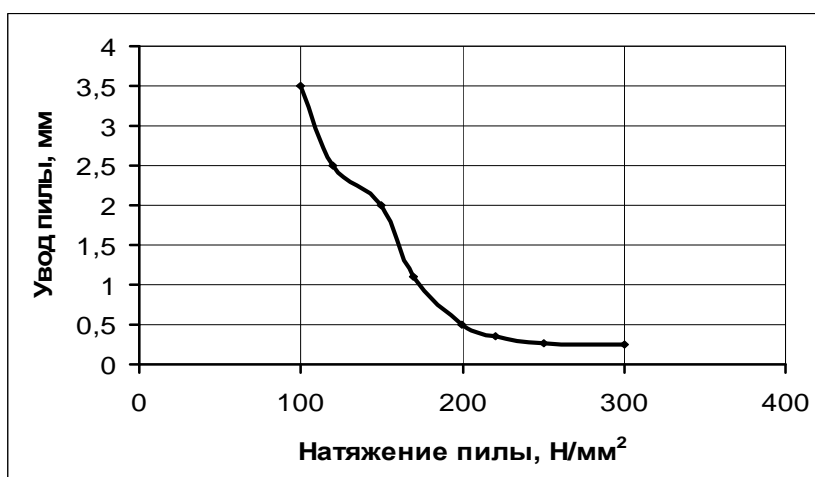


Рисунок 2 Зависимость увода пилы от натяжения для состояния уже изношенной пилы.

В ходе проведения исследований было экспериментально установлено, что данные по усилию натяжения пилы, рекомендуемые производителями в большинстве случаев, являются заниженными и требуют увеличения на 10-15% в зависимости от типа и жесткости станка [4]. По результатам эксперимента рекомендованы следующие усилия натяжения для разных классов станков, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Рекомендуемые значения натяжения пилы.

Класс станков	Легкие	Средние	Высокопроизводительные
Натяжение, Н/мм <sup>2</sup>	150-180	200-270	280-350

Поэтому величина натяжения непосредственно влияет не только на устойчивость процесса резания, но и на резонансные частоты системы “пила-направляющие”, исследования которых приведены далее.

Динамическая модель рассматриваемой системы приведена на рисунке 3. В точке А приложено возмущающее усилие. Причем из-за бокового развода зубьев пилы возникают боковые силы, возбуждающие поперечные колебания, из-за того, что точка А (соответствует точке контакта входящего в разрезаемый материал зуба) периодически перемещается на величину шага зубьев пилы. В рассматриваемой системе могут возникать параметрические колебания (изменяется длина полотна пилы на участке ОА). Поперечные колебания пилы будем рассматривать на участке ОА и участке АВ (колебание массы 2).

Для большей наглядности дальнейших рассуждений преобразуем динамическую модель к виду, изображенному на рисунке 4.

Здесь упругость  $C$  равносильна действию упругостей  $C_1$  и  $C_2$ . Найдем упругость  $C$  (осуществим приведение жесткостей).

Следовательно, при перемещении груза на величину  $X$  относительное удлинение полотна равно:

$$\Delta = \frac{\sqrt{OA^2 + x^2} + \sqrt{OB^2 + x^2} - OA - OB}{OA + OB} \quad (1)$$

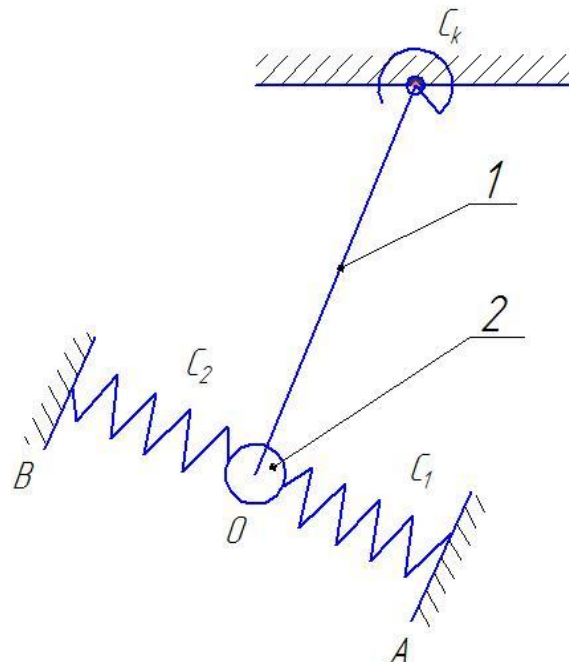


Рисунок 3 - Динамическая модель системы “полотно-направляющая пилы”

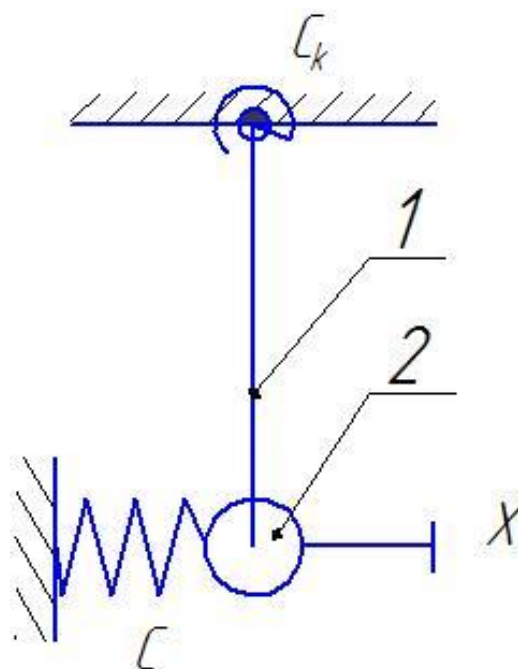


Рисунок 4 - Динамическая модель к расчету “поперечных” колебаний направляющей

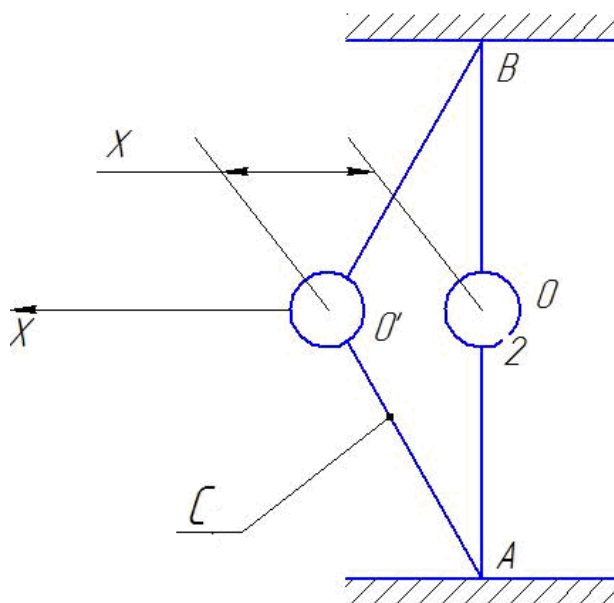


Рисунок 5 – Динамическая модель к определению жесткости С

$$\frac{X^2}{2OA} = \sqrt{OA^2 + X^2} - OA$$

$$\frac{X^2}{2OB} = \sqrt{OB^2 + X^2} - OB$$

Тогда

$$\Delta = \frac{X^2}{2OAOB} \quad (2)$$

Коэффициент жесткости пружины, изображенной на рисунке 5, определяется по формуле

$$C = \frac{OA + OB}{OAOB} q \quad (3)$$

Для получения дифференциального уравнения для системы, изображенной на рисунке 5, воспользуемся уравнением Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial q} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q} \quad (4)$$

где Т – кинетическая энергия; П – потенциальная энергия; q - обобщенная координата; g – обобщенная скорость;

В качестве обобщенной координаты принимаем координату X:

$$T = \frac{1}{2} m_2 \dot{X}^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{j}^2 \quad (5)$$

где  $m_2$  – масса направляющей;  $J_1$  – момент инерции швеллера направляющей относительно точки его качания.

$$J_1 = \frac{m_1 l_1^2}{3} \quad (6)$$

где  $m_1$  – масса швеллера;  $l_1$  – длина швеллера;

$$\dot{j} = \frac{\dot{x}}{l_1} \quad (7)$$

Учитывая соотношения (5, 6 и 7), получим

$$T = \frac{1}{2} C X^2 + \frac{1}{2} C_k \dot{j}^2 = \frac{1}{2} \left( C + \frac{C_k}{l_1^2} \right) X^2 = \frac{1}{2} C_0 X^2 \quad (8)$$

Потенциальная энергия определяется

$$P = \frac{1}{2} C X^2 + \frac{1}{2} C_k \dot{j}^2 = \frac{1}{2} \left( C + \frac{C_k}{l_1^2} \right) X^2 = \frac{1}{2} C_0 X^2 \quad (9)$$

Подставляя значение  $T$  и  $P$  в уравнение Лагранжа, получим

$$a \ddot{x} + C_0 x = 0 \quad (10)$$

Это уравнение свободных колебаний системы.

Собственная круговая частота колебаний системы для ленточнопильного станка будет равна:

$$K = \sqrt{\frac{\frac{OA + OB}{OAOB} S + \frac{j^2 10^5}{l_1^2}}{m_2 + \frac{1}{3} m_1}} \quad (11)$$

Для дальнейшего исследования необходимо определить круговую частоту возмущающей силы, которую обозначим  $w$ . При  $w = K$  возникают резонансные колебания, которые характеризуются

значительным возрастанием амплитуды, что негативно отражается на процессе резания и узлах самого станка. Установлено, что для надежного исключения резонанса необходимо, чтобы значения  $w$  и  $K$  отличались не менее чем на 30%.

Рассмотрим ленточные пилы с различным разводом зубьев. Первый вариант, когда все зубья разведены, и второй вариант, когда средний зуб из трех не разведен.

Круговая частота для первого случая определяется как:

$$w = \frac{pV}{t} \tag{12}$$

Для второго случая:

$$w = \frac{2pV}{3t} \tag{13}$$

Полученные данные занесем в таблицу 2 для первого случая и в таблицу 3 для второго случая. По полученным данным на рисунках 6 и 7 приведены графики круговой частоты от скорости резания и определим зоны возникновения резонансов.

Таблица 2 - Зависимость круговой частоты от скорости резания для первого вида разводки зубьев пилы

Круговая частота	V м/мин			
	25	32	45	65
<b>W</b> , С <sup>-1</sup> для пилы с шагом t=4мм.	314	416	588	847
<b>W</b> , С <sup>-1</sup> для пилы с шагом t=6мм.	209	277	392	565
<b>W</b> , С <sup>-1</sup> для пилы с шагом t=8мм.	157	208	294	423

Скорость, при которой возникает максимальный резонанс, определим по формуле, приняв  $n=1$

$$V_p = \frac{kt}{pn} \tag{14}$$

Таблица 3 - Зависимость круговой частоты от скорости резания для второго типа разводки зубьев пилы

Круговая частота	V м/мин			
	25	32	45	65
$W$ , С <sup>-1</sup> для пилы с шагом t=4 мм.	209	271	392	565
$W$ , С <sup>-1</sup> для пилы с шагом t=6 мм.	140	185	262	377
$W$ , С <sup>-1</sup> для пилы с шагом t=8 мм.	104	138	196	282

Скорость, при которой возникает максимальный резонанс, определим по формуле, приняв n=1

$$V_p = \frac{3kt}{2pn} \tag{15}$$

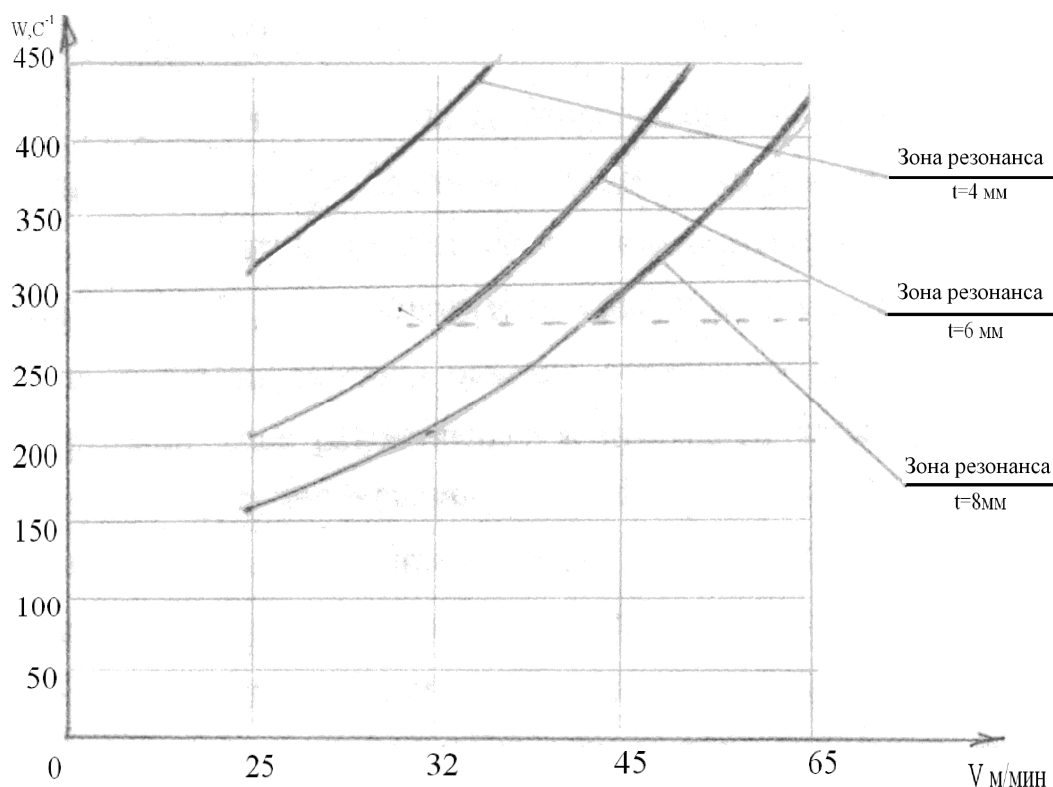


Рисунок 6 - Зоны возникновения резонанса для ленточных пил, у которых все зубья разведены.



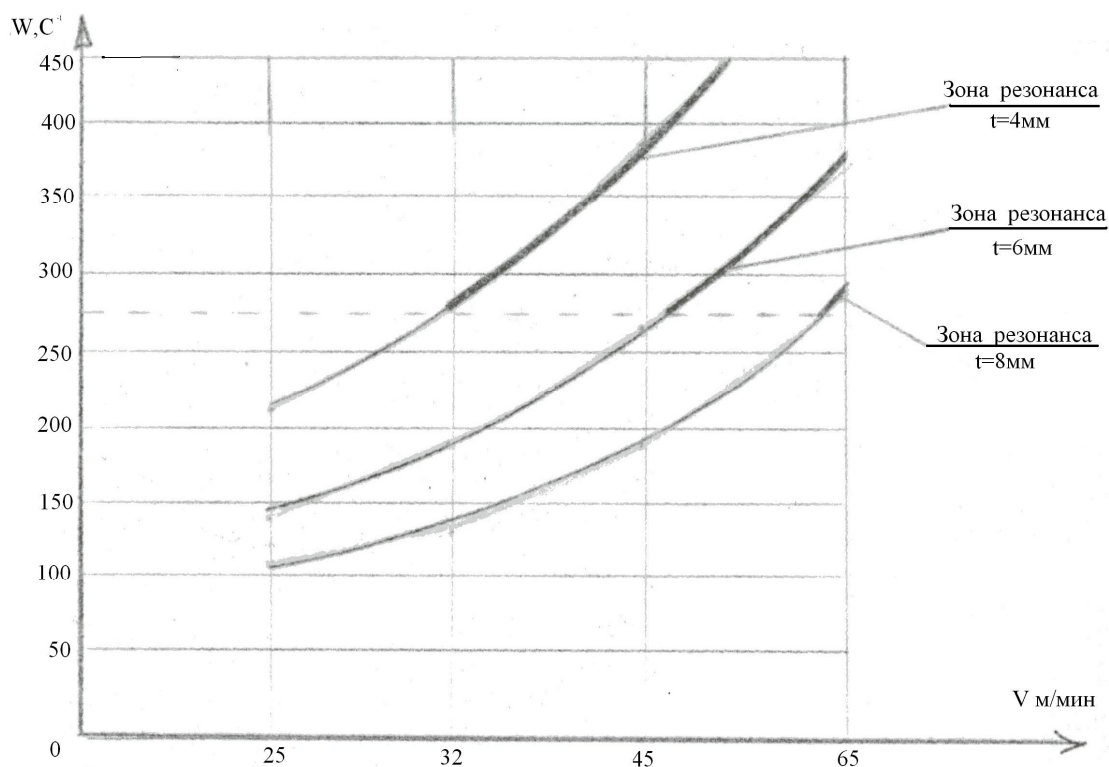


Рисунок 7 - Зоны возникновения резонанса для ленточных пил, у которых не разведен средний из трех зубьев

В качестве вывода можно сказать следующее: в ходе исследования динамических явлений, вызванных процессом резания, установлены зоны, в которых возникает резонанс, который негативно влияет на работу станка в целом. Чтобы уменьшить действие резонанса необходимо проведение ряда мероприятий по повышению усилия натяжения пилы и устойчивости процесса резания при работе станков.

#### Список литературы

1. Барботько А. И. Теория резания металлов. Ч. 1. Основы процесса резания: Учебное пособие /Барботько А. И., Зайцев А. Г. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. – 216 с.
2. Litvinov A.E. Kornienko V.G., Suhonosov N.I. Cutting by means of band saws // Russian engineering research 2011 г. №1 с.59-61
3. Литвинов А.Е. Методика экспериментальных исследований процесса резания на ленточнопильных станках // Сборник Трудов X Всероссийской научной конференции молодых ученых и студентов: "Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах" 2013 г. С. 171-173
4. Литвинов А.Е. Корниенко В.Г. Исследование процесса резания на ленточнопильных станках // Политематический сетевой электронный научный журнал

Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) №9(91)2013 г.

5. Литвинов А.Е. Износ и производительность, как основные факторы, влияющие на процесс резания на ленточнопильных станках // Современные проблемы науки и образования № 6, 2013 г. С. 42

6. Litvinov A. Research of deterioration and productivity of a band saw/A. Litvinov, V.Kornienko//European journal of natural history-2010 -№1 С 57.

#### References

1. Barbot'ko A. I. Teorija rezanija metallov. Ch. 1. Osnovy processa rezanija: Uchebnoe posobie /Barbot'ko A. I., Zajcev A. G. – Voronezh: Izd-vo VGU, 1990. – 216 s.

2. Litvinov A.E. Kornienko V.G., Suhonosov N.I. Cutting by means of band saws // Russian engineering research 2011 g. №1 s.59-61

3. Litvinov A.E. Metodika eksperimental'nyh issledovanij processa rezanija na lentochнопil'nyh stankah // Sbornik Trudov X Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh i studentov: "Sovremennoe sostojanie i priority razvitija fundamental'nyh nauk v regionah" 2013 g. S. 171-173

4. Litvinov A.E. Kornienko V.G. Issledovanie processa rezanija na lentochнопil'nyh stankah // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) №9(91)2013 g.

5. Litvinov A.E. Iznos i proizvoditel'nost', kak osnovnye faktory, vlijajushhie na process rezanija na lentochнопil'nyh stankah // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija № 6, 2013 g. S. 42

6. Litvinov A. Research of deterioration and productivity of a band saw/A. Litvinov, V.Kornienko//European journal of natural history-2010 -№1 S 57.