



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053:621.934

*Г.Ф. Прокофьев<sup>1</sup>, И.И. Иванкин<sup>1</sup>, Л.А. Ковалев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Архангельский государственный технический университет

<sup>2</sup>Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского университета

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.  
Тел.: 21-61-67



Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры робототехнических систем, машин и оборудования лесного комплекса, проректор по учебной работе Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.  
Тел.: 21-89-20



Ковалев Леонид Александрович родился в 1952 г., окончил Московский государственный университет, старший преподаватель филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет 8 научных работ в области динамики твердого тела.  
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ТОЧНОСТИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ**

На основании теоретических исследований с применением метода конечных элементов показано, что изменение рабочей жесткости круглых пил от радиальной силы (следовательно и от режимов пиления) имеет тот же характер, что у рамных и ленточных пил; приведена формула для определения точности пиления древесины круглыми пилами.

Ключевые слова: точность пиления, круглые пилы, условие точного пиления, боковая сила, сила резания, критическая сила, жесткость пилы, прогиб пилы.

Точность толщины пиломатериалов является одним из основных показателей их качества. Низкая точность вынуждает снижать скорость подачи, что уменьшает производительность станка, или применять более толстые пилы и увеличивать поле допуска пиломатериалов, что приводит к снижению объемного выхода. Поэтому выявление и использование резервов

увеличения точности толщины пиломатериалов – важное направление повышения эффективности лесопиления.

Точность размеров сечения пиломатериалов зависит от точности позиционирования пил на заданный размер получаемой заготовки и точности пиления. Точность позиционирования пил характеризуется отклонением центра поля рассеяния толщин пиломатериала от центра номинальной (для сухих пиломатериалов) или заданной (равной номинальной) толщины плюс припуск на усушку (для влажных пиломатериалов). Точность пиления может быть определена с помощью статистического и аналитического методов [11].

Статистический метод оценки точности пиления древесины целесообразно использовать в следующих случаях: контроль обеспечения требуемой точности пиления; определение влияния ряда основных факторов на точность пиления; прогнозирование количества и качества брака по точности толщины пиломатериалов; управление точностью размерообразования пиломатериалов в гибких автоматизированных лесопильных линиях.

Аналитический метод позволяет дать количественную оценку влияния большого числа факторов на точность пиления, рассчитать предельные скорости подачи с ограничением по точности пиления, разработать мероприятия по повышению точности пиления, определить направления совершенствования лесопильного оборудования.

Ранее разработан аналитический метод оценки точности пиления древесины полосовыми (рамными и ленточными) пилами [4]. Условие точного пиления состоит в том, что максимальное отклонение  $y_{\max}$  зубчатой кромки пилы не должно превышать допустимой величины  $[y]$ :

$$y_{\max} \leq [y]. \quad (1)$$

В результате экспериментальных [7] и теоретических исследований [4] установлена связь между рабочей  $j_p$  (жесткость пилы при пилении) и начальной  $j_n$  (жесткость пилы при отсутствии сил сопротивления резанию) жесткостью пилы, критической силой  $P_{кр}$  (предельная сила, при достижении которой пила теряет устойчивость плоской формы изгиба) и горизонтальной (радиальной) составляющей силы сопротивления резанию  $P$  (определяется режимами пиления, параметрами зубьев, породой и гидротермическим состоянием древесины).

Рабочую жесткость определяют по формуле

$$j_p = j_n \left( 1 - \frac{P}{P_{кр}} \right). \quad (2)$$

Ее можно выразить как

$$j_p = \frac{Q}{y}, \quad (3)$$

где  $Q$  – боковая сила, действующая на пилу в процессе пиления, Н;

$y$  – отклонение пилы под действием боковой силы (прогиб режущей кромки пилы), мм.

Запишем условие точного пиления:

$$y_{\max} = \frac{Q}{j_n \left( 1 - \frac{P}{P_{\text{кр}}} \right)} \leq [y]. \quad (4)$$

Для рамных [5] и ленточных [2] пил были определены боковая сила  $Q$ , начальная жесткость  $j_n$  [3, 8, 10], критическая сила  $P_{\text{кр}}$  [9]. Силу резания  $P$  рекомендуется определять по методике проф. А.Л. Бершадского [1].

Для круглых пил отсутствует аналитический метод определения точности пиления. Поэтому перед нами стояла цель – установить, может ли он быть разработан по аналогии с рамными и ленточными пилами.

Была рассмотрена пила с наружным диаметром  $D = 500$  мм, толщиной  $s = 2,2$  мм, защемленная в центральной части фланцами с диаметром  $d = 125$  мм. К режущей кромке была приложена сила  $Q = 20$  Н. В плоскости наибольшей жесткости пилы действовала радиальная сила  $P$ . Расчетная схема приведена на рис. 1.

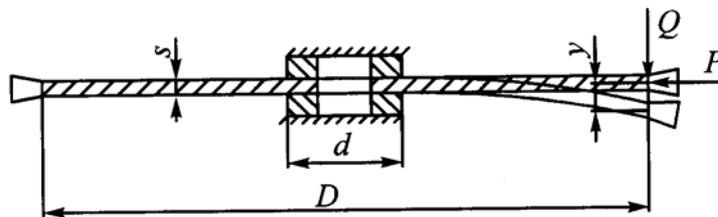


Рис. 1. Расчетная схема круглой пилы

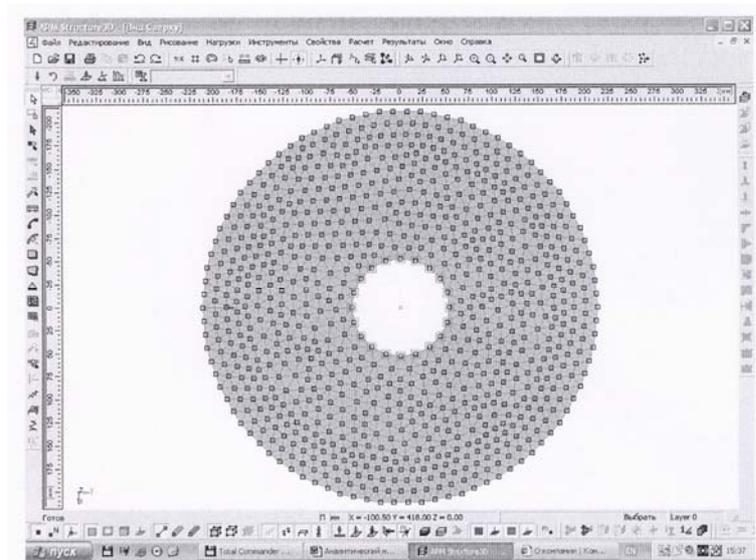


Рис. 2. Рабочее окно системы APM Structure 3D (версия 9.2)

$P$ , Н	$y$ , мм	$j_p$ , Н/мм	$\omega_c$ , Гц
0	0,976	20,49	48,4
500	1,144	17,48	46,7
1000	1,387	14,42	44,1
1500	1,760	11,36	40,5
2000	2,399	8,34	35,6
2500	3,640	5,49	28,7
3000	6,120	3,27	17,5

Используя систему конечно-элементного расчета и проектирования трехмерных конструкций (рис. 2) APM Structure 3D, версия 9.2 (разработчик ООО НТЦ «АИМ», г. Королев Московской области), определяли прогиб  $y$  и рабочую жесткость  $j_p$  пилы в зависимости от силы  $P$ . Одновременно определяли и изменение частот собственных колебаний пилы  $\omega_c$ . Полученные значения  $y$ ,  $j_p$  и  $\omega_c$  приведены в таблице, зависимости, отражающие влияние силы  $P$  на  $y$ ,  $j_p$  и  $\omega_c$ , – на рис. 3.

Исследования показали, что изменение рабочей жесткости круглой пилы от величины силы  $P$ , а следовательно и от режимов пиления, имеет тот же характер, что у рамных и ленточных пил, т. е. условие точного пиления древесины круглыми пилами может быть представлено выражением (4).

Установлено, что при увеличении силы  $P$  частота собственных колебаний уменьшается и принципиально возможно явление резонанса при снижении частоты собственных колебаний до частоты вынужденных колебаний. Расчеты показывают, что при таком увеличении силы  $P$  рабочая жесткость снижается настолько, что необходимая точность пиления не может быть достигнута. При пиления древесины с режимами, обеспечивающими требуемую точность пиления, пила находится, как правило, вне резонансной зоны, что объясняет возможность использования статических методов расчета точности пиления при динамических нагрузках.

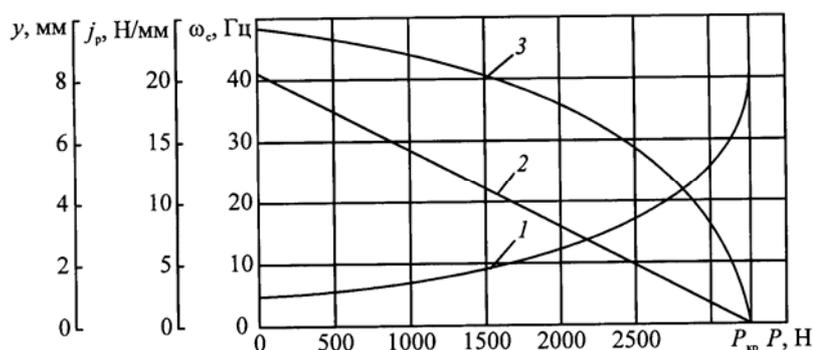


Рис. 3. Зависимость прогиба  $y$  (1), рабочей жесткости  $j_p$  (2) и частоты собственных колебаний  $\omega_c$  (3) круглой пилы от действующей на нее силы  $P$

Эти вопросы требуют более глубокого изучения и будут рассмотрены в следующих работах.

#### *Выводы*

1. Аналитический метод расчета точности пиления древесины является общим для рамных, ленточных и круглых пил.

2. Для практического использования метода необходимо определить влияние касательной составляющей силы резания на точность пиления древесины круглыми пилами; разработать методику расчета боковых сил в зависимости от режимов пиления, точности подготовки, установки и движения круглых пил; разработать математические модели для определения начальной жесткости и устойчивости круглых пил с учетом температурного перепада по радиусу диска и степени его вальцевания.

3. Аналитический метод расчета точности пиления древесины круглыми пилами может быть использован для определения эффективности мероприятий по повышению качества подготовки круглых пил и круглопильных станков к работе; выбора направлений совершенствования круглопильных станков; разработки режимов пиления древесины на круглопильных станках с ограничением скорости подачи по точности размеров пиломатериалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бершадский, А.Л.* Резание древесины [Текст] / А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова. – Минск: Высшейш. шк, 1975. – 303 с.
2. *Иванкин, И.И.* Определение боковых сил, действующих на пилу делительного ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими [Текст] / И.И. Иванкин // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ – Архангельск, 1999. – № 6. – С. 43 – 52.
3. *Иванкин, И.И.* Теоретические исследования начальной жесткости ленточных пил [Текст] / И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2000. – № 3. – С. 112 – 119. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Прокофьев, Г.Ф.* Аналитический метод определения точности пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Наука – Северному региону: сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2006. – № 67. – С. 297 – 304.
5. *Прокофьев, Г.Ф.* Боковые силы, действующие на рамные пилы, и влияние их на точность пиления древесины [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1991. – № 5. – С. 82 – 89. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Прокофьев, Г.Ф.* Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
7. *Прокофьев, Г.Ф.* Исследование влияния некоторых факторов на устойчивость рамных пил: дис. ... канд. техн. наук / Г.Ф. Прокофьев. – Архангельск. – 1970. – 146 с.
8. *Прокофьев, Г.Ф.* Исследование начальной жесткости полосовых пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 88 – 95. – (Изв. высш. учеб. заведений).

9. Прокофьев, Г.Ф. Определение критической силы полосовой пилы. Общий случай [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2008. – № 1. – С. 107–111. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Прокофьев, Г.Ф. Теоретические исследования начальной жесткости ленточных и рамных пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 1997. – Вып. 3. – С. 20–24.

11. Прокофьев, Г.Ф. Точность пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1996. – № 6. – С. 74 – 80. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 13.09.07

*G.F. Prokofjev<sup>1</sup>, I.I. Ivankin<sup>2</sup>, L.A. Kovalev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Arkhangelsk State Technical University

<sup>2</sup> Branch «Sevmashvtuz» of Saint-Petersburg State Marine Technical University

#### **Determination of Wood Sawing Accuracy of Circular Saws by Analytical Method**

Based on theoretical investigations using the method of final elements it was shown that the operational stiffness change of a circular saw depending on the radial force bears the character similar to frame and band saws.

Keywords: sawing accuracy, circular saws, accurate sawing condition, side force, critical force, saw stiffness, saw bending deflection.

---