

УДК 621.935

**Н.В. Лобанов, Г.Ф. Прокофьев, И.С. Лобанова**

Лобанов Николай Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1988 г. Севмашвууз, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортного и технологического оборудования Севмашвууза. Имеет более 15 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании, прикладной механики и лесопильного оборудования.



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 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Лобанова Ирина Станиславовна родилась в 1970 г., окончила в 1993 г. Севмашвууз, старший преподаватель кафедры математики Севмашвууза, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования АГТУ. Имеет около 10 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании, прикладной механики и лесопильного оборудования.

**ЖЕСТКОСТЬ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ  
С УЧЕТОМ ОТЖИМНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ**

Исследовано изменение жесткости пилы в направлении на направляющие и от направляющих в зависимости от боковой силы, нормальной составляющей силы резания, выставки направляющих; получена формула, позволяющая рассчитать величину выставки отжимных направляющих.

*Ключевые слова:* отжимные направляющие, боковая жесткость, усилие отжима, выставка направляющих.

Повышение жесткости ленточных пил является важной задачей обеспечения качественного и высокопроизводительного пиления древесины на ленточнопильных станках. Одним из способов повышения жесткости ленточных пил может служить использование односторонних отжимных (контактных) направляющих, которые чаще всего представляют собой прямоугольные бруски из антифрикционного износостойкого материала по ширине равные (или немного меньшие) ширине полотна пилы, отжимающие ее на величину выставки  $\Delta$ ; по классификации типов связей их следует считать односторонними неударяющими связями. Существующие методы рас-

чета жесткости ленточных пил [2–4] не учитывают возможности частичного или полного отрыва пилы от контактных направляющих.

Цель наших исследований – определить влияние отжимных направляющих и величины выставки на жесткость пилы.

Для оценки влияния отжимных направляющих на жесткость ленточной пилы в боковом направлении были проведены расчеты моделей пил по методу конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS v. 5.5.3 ED. Ленточную пилу моделировали оболочечными элементами как тонкую пластинку, имеющую изгибную и мембранную жесткости. При этом на отжимных направляющих использовали специальные конечные элементы, позволяющие учесть контактный характер взаимодействия между пилой и направляющими.

Общая расчетная схема ленточной пилы (рис. 1) представляет прямоугольную пластинку толщиной  $s$ , шириной  $b$  и длиной  $L = l + 2a$ , шарнирно закрепленную по коротким сторонам (модель закрепления пилы на шкивах). Пилу сначала растягивали силой  $N$ , равномерно распределенной по коротким сторонам, затем отжимали направляющими на величину выставки  $\Delta$ . Расстояние между центрами направляющих равно  $l$ . Растянутую и отжатую пилу нагружали боковой силой  $Q$ , приложенной к кромке пилы посередине между направляющими. Боковую силу прикладывали как в прямом (на направляющие), так и в обратном (от направляющих) направлении. Оценивали величину силы отжима направляющих  $Q$ , возникающую при смещении (боковое смещение  $y$  и боковая жесткость  $j$  в точке приложения силы  $Q$ ).

Дополнительно производили расчеты жесткости пил, нагруженных нормальной силой  $P_n$ , приложенной к кромке пилы посередине между направляющими.

Исследованию были подвергнуты ленточные пилы со следующими размерами поперечного сечения ( $\delta \times b$ ), мм:  $1,0 \times 120$ ;  $1,2 \times 160$ ;  $1,4 \times 200$ ;  $1,6 \times 200$ . Длину пил  $L$  во всех случаях принимали равной 2400 мм. Для каждого типоразмера пил рассматривали два варианта с различными расстоянием между отжимными направляющими  $l = 350, 600$  м и величиной выставки отжимных направляющих  $\Delta = 5; 10$  мм.

Силы натяжения выбирали таким образом, чтобы напряжения растяжения в полотнах пил составляли 80 ... 120 МПа. Отжимные направляющие в плане имели прямоугольную рабочую поверхность с размерами

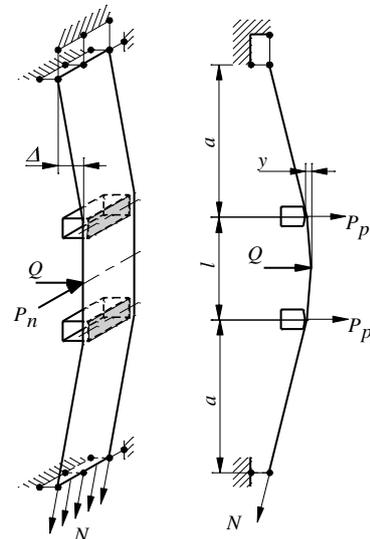


Рис. 1. Расчетная схема ленточной пилы

$b \times 0,35b$ . Во избежание кромочного контакта рабочие поверхности отжимных направляющих моделировали цилиндрическими поверхностями с радиусом кривизны  $R_n = 1000$  мм.

Боковую силу в прямом и обратном направлениях варьировали в пределах  $Q = 5 \dots 300$  Н с приращением 5 Н. Анализ вышеперечисленных вариантов расчетов позволил вывести формулу для определения величины предельного отклонения  $y_{\text{пред}}$ , при котором происходит отрыв пилы от направляющих:

$$y_{\text{юää}} = \frac{l\Delta}{2a}. \quad (1)$$

Величины бокового смещения  $y$  и жесткости в прямом (на направляющие) направлении хорошо согласуются с результатами, полученными энергетическими и аналитическими методами [2–4]. Величины бокового смещения  $y$  и жесткости в обратном (от направляющих) направлении практически не отличаются от соответствующих значений в прямом направлении до тех пор, пока боковая сила не достигнет некоторой предельной величины. При  $Q > Q_{\text{пред}}$  жесткость в направлении от направляющих существенно снижается. На рис. 2 показана связь между боковой жесткостью  $j$  и величиной боковой силы  $Q$  для ленточной пилы с параметрами: ширина  $b = 120$  мм, толщина  $s = 1,0$  мм, длина пилы  $L = 2400$  мм, расстояние между направляющими  $l = 350$  мм, сила натяжения  $N = 10,0$  кН, величина выставки  $\Delta = 5, 10$  мм, усилие отжима направляющих  $P_p = 45,5; 90,0$  Н.

Представленная на рис. 2 зависимость боковой жесткости в обратном направлении (от направляющих) одинакова для обоих рассмотренных расчетных случаев. График жесткости в обратном направлении состоит из трех характерных участков: на первом ( $0 < Q < Q_{\text{пред}}$ ) величина жесткости приблизительно постоянна и равна жесткости в прямом направлении (на направляющие) – это объясняется тем, что первоначальный контакт с пилой сохраняется по всей ширине направляющих; на втором ( $Q > Q_{\text{пред}}$ ) жесткость резко падает – на данном этапе начинается и развивается частичный отрыв пилы направляющих; на третьем жесткость мало изменяется, но по величине много меньше жесткости на первом участке, контакт пилы с направляющей здесь линейный по кромке направляющей, противоположной нагруженной кромке пилы. Величина выставки  $\Delta$  очень мало влияет на боковую жесткость до момента отрыва пилы от направляющих, но с увеличением  $\Delta$  пропорционально увеличивается  $Q_{\text{пред}}$ , а с ней и протяженность первого участка (рис. 2).

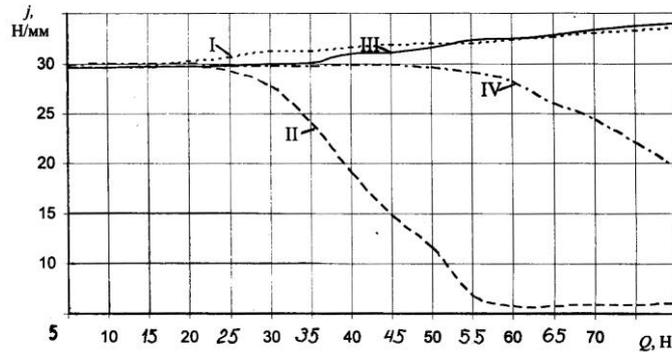


Рис. 2. Зависимость жесткости  $j$  ленточной пилы от боковой силы  $Q$  при следующих направлениях приложения боковой силы и величине выставки направляющих: I и II – на направляющие при  $\Delta = 5$  мм; III и IV – от направляющих при  $\Delta = 10$  мм

С ростом  $\Delta$  для отрыва пилы от направляющих требуется большее боковое усилие. При эксплуатации отжимных направляющих необходимо, чтобы боковая жесткость в обратном направлении была не меньше, чем в прямом, поэтому важно иметь расчетное значение  $Q_{\text{пред}}$ . Для ненагруженных пил (нормальная сила резания  $P_n = 0$ ) величина силы отжима достаточно хорошо (разница составила не более 7 %) совпала с рассчитанной по известной формуле [1]

$$Q = N \frac{\Delta}{a}.$$

При нагружении пилы нормальной силой резания вместе с боковой жесткостью уменьшается и величина  $Q_{\text{пред}}$ . На рис. 3 представлено влияние боковой силы  $Q$  на боковую жесткость  $j$  ленточной пилы шириной  $b = 160$  мм, толщиной  $s = 1,2$  мм, длиной 2 400 мм с расстоянием между направляющими  $l = 600$  мм, силой натяжения  $N = 19,2$  кН, величиной выставки  $\Delta = 5$  мм, усилием отжима направляющих  $P_p = 108,0$  Н.

Боковое смещение, при котором начинается уменьшение боковой жесткости в направлении от направляющих, практически не зависит от величины нормальной нагрузки. Поэтому в качестве критерия снижения боковой жесткости (начала отрыва пилы от направляющих) в обратном направлении следует принять величину бокового смещения  $y_{\text{пред}}$ . С учетом того, что  $y_{\text{пред}} = [y]$  (где  $[y]$  – предельно допустимое отклонение) и  $\dot{a} = \frac{L-l}{2}$ , необходимая выставка направляющих может быть рассчитана по формуле

$$\Delta = \left( \frac{L}{l} - 1 \right) [y]. \quad (2)$$

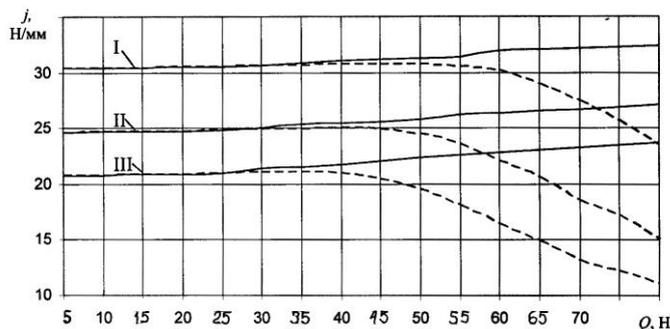


Рис. 3. Зависимость жесткости  $j$  в прямом (на направляющие – сплошной линией) и обратном (от направляющих – штриховая линия) направлениях от  $Q$  для ленточной пилы при следующих значениях нормальной силы резания: I –  $P_n = 0$  Н; II – 300; III – 500 Н

Методика определения  $[y]$  для ленточной пилы с позиции точности пиления приведена в работе [4], расстояние между осями шкивов  $L$  регламентируется конструкцией станка, расстояние между направляющими  $l$  – максимальной высотой пропила.

Допускаемая боковая сила  $[Q]$ , которая при известной жесткости  $j$  не превышает предельной величины  $Q_{\text{пред}}$ , может быть определена из выражения  $[Q] = j[y]$ . Для обеспечения требуемой точности пиления необходимо, чтобы боковая сила не превышала предельной:

$$Q \leq [Q] = \frac{j l \Delta}{2a} . \quad (3)$$

#### Выводы

1. До определенного предельного бокового отклонения  $y_{\text{пред}}$  жесткость ленточной пилы с отжимными направляющими при приложении боковой силы  $Q$  с разных сторон пилы не зависит от величины выставки направляющих  $\Delta$ .

2. Необходимая величина выставки направляющих  $\Delta$  может быть рассчитана по формуле (2).

3. Предельная величина бокового отклонения пилы  $y_{\text{пред}}$  не зависит от режимов пиления.

4. Подтверждена ранее полученная закономерность: уменьшение жесткости пилы при увеличении сил резания.

5. Равенство (3) может быть использовано для расчетов скорости подачи ленточнопильных станков с ограничением по точности пиления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселков В.И.* Теория и конструкции ленточнопильных станков // Учеб. пособие. – Архангельск: АЛТИ, 1992. – 84 с.

2. Лобанова И.С., Лобанов Н.В. Влияние условий опирания ленточных и рамных пил на их начальную жесткость // Лесн. журн. – 2003. – № 1. – С. 77–85. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Дундин Н.И. Исследование начальной жесткости полосовых пил // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 88–95. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 226 с.

Севмашвтуз

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 25.09.03

*N.V. Lobanov, G.F. Prokofjev, I.S. Lobanova*

### **Hardness of Bandsaws Taking into Account Squeeze Guides**

Alteration of saw hardness along the guides depending on lateral force, standard cutting force component, guides' alignment has been studied, formula allowing to calculate the value of squeeze guides' alignment has been obtained.