



УДК 674.053:621.935

Г.Ф. Прокофьев, М.В. Дербин

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Дербин Михаил Васильевич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – совершенствование лесопильного оборудования и инструмента.
тел.: 8-921-919-63-85



ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОТЖИМНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ

Теоретически показано, что в зависимости от типа направляющих, устанавливаемых в ленточнопильных станках, при одинаковом прогибе значительно изменяются напряжения, возникающие в пиле; предложены формулы для определения прогиба любой точки полотна ленточной пилы и возникающего в ней напряжения.

Ключевые слова: точность пиления, ленточные пилы, отжимные направляющие, напряжение пилы, прогиб пилы, долговечность.

Широкое применение ленточнопильных станков в лесопилении сдерживается малой точностью пиления древесины при больших скоростях подачи и недостаточной долговечностью пил.

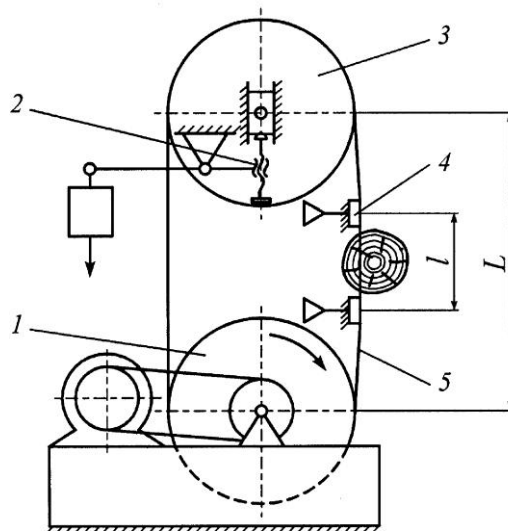
Точность пиления зависит от сил, действующих на пилу в процессе пиления, и ее способности противодействовать этим силам – жесткости и устойчивости.

Для повышения жесткости и устойчивости ленточной пилы применяют направляющие, которые уменьшают свободную длину пилы l в плоскости ее наименьшей жесткости. Направляющие могут быть двухсторонними (щелевыми), установленными с зазором δ с двух сторон пилы, или контактными (отжимными), отклоняющими пилу на определенную величину. Двухсторонние направляющие просты по устройству и для их изготовления не требуются тепло- и износостойкие материалы. Однако при установке направляющих с зазором устойчивость пил не увеличивается, а жесткость возрастает незначительно. Такие направляющие выполняют в основном роль ограничителей предельных отклонений пилы.

Более эффективны односторонние отжимные направляющие. Они уменьшают свободную длину пилы в плоскости ее наименьшей жесткости, за счет этого ее жесткость и устойчивость увеличиваются. При этом повышается точность движения пилы в зоне резания, устраняются ее колебания. Такой тип направляющих находит все большее применение в зарубежных ленточнопильных станках.

Отжимные направляющие, расположенные над и под распиливаемым материалом, могут быть выполнены в виде колодок малой протяженности по длине пилы (менее 50 мм) и в виде пластин, имеющих значительную протяженность по длине пилы.

Рис. 1. Конструкция ленточнопильного станка с отжимными аэростатическими направляющими: 1, 3 – соответственно ведомый и ведущий пильные шкивы; 2 – механизм натяжения пилы; 4 – отжимная аэростатическая направляющая; 5 – ленточная пила



Для уменьшения трения пилы о направляющие их рабочие поверхности могут быть выполнены в виде аэростатических опор (рис. 1) [1].

Предварительные испытания отжимных аэростатических направляющих в производственных условиях дали положительные результаты и показали перспективность их использования при модернизации ленточнопильных станков.

Для определения преимуществ отжимных направляющих по сравнению с щелевыми, влияния их на качество пиления и долговечность пил, а также выбора конструкции необходимо выполнить теоретические исследования.

На рис. 2 приведена расчетная схема ленточной пилы с колодочными (или роликовыми) отжимными направляющими. Силы отжима F таких направляющих могут рассматриваться как сосредоточенные. Расстояния от ведущего (коренного) пильного шкива до первой и второй отжимных направляющих обозначены соответственно C_1 и C_2 . Расстояние между ведущим (коренным) и ведомым (натяжным) шкивами обозначено L . Ленточная пила, имеющая толщину s и ширину полотна b , растянута силой N . Она отжата направляющими на величину Δ . При выводе уравнений прогибов пилы был использован метод расчета прогибов стержней, нагруженных продольными и поперечными силами [3].

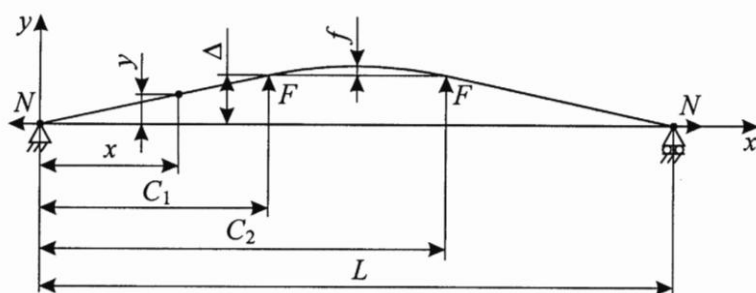


Рис. 2. Расчетная схема ленточной пилы с колодочными (или роликовыми) отжимными направляющими (при сосредоточенном приложении сил отжима)

Уравнения прогибов:

на первом участке (x изменяется от 0 до C_1)

$$y = \frac{x}{NL} FC_1 + \frac{x}{NL} FC_2 - \frac{\text{sh } px}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } pC_1 - \frac{\text{sh } px}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } pC_2; \quad (1)$$

на втором участке (x изменяется от C_1 до C_2)

$$y = \frac{x}{NL} FC_1 + \frac{C_1 - x}{NL} F \text{sh } p(C_2 - C_1) - \frac{\text{sh } px}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } pC_1 - \frac{\text{sh } p(C_1 - x)}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } p(C_2 - C_1); \quad (2)$$

на третьем участке (x изменяется от C_2 до L)

$$y = \frac{C_1 - x}{NL} F \text{sh } p(C_2 - C_1) + \frac{C_2 - x}{NL} F \text{sh } p(C_2 - C_1) - \frac{\text{sh } p(C_1 - x)}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } p(C_2 - C_1) - \frac{\text{sh } p(C_2 - x)}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } p(C_2 - C_1). \quad (3)$$

В уравнениях прогибов (1) – (3)

$$p = \sqrt{\frac{N}{EI}},$$

где E – модуль упругости материала пилы, $E = 2,15 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$;

I – момент инерции сечения пилы, мм^4 , $I = \frac{bs^3}{12}$.

На рис. 3 приведена расчетная схема ленточной пилы с отжимными направляющими в виде пластин протяженностью a . Силы отжима таких направляющих можно рассматривать как равномерно распределенную по длине a нагрузку.

Уравнения прогибов:

на первом участке (x изменяется от 0 до $C_1 - \frac{a}{2}$)

$$y = \frac{x}{NL} FC_1 + \frac{x}{NL} FC_2 - \frac{\text{sh } px}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } pC_1 - \frac{\text{sh } px}{Np \text{sh } pL} F \text{sh } pC_2; \quad (4)$$

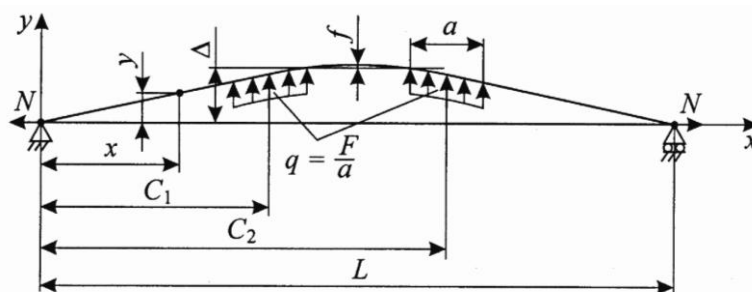


Рис. 3. Расчетная схема ленточной пилы с отжимными направляющими в виде пластин протяженностью a (при распределенном приложении сил отжима на участке длиной a)

на втором участке (x изменяется от $C_1 - \frac{a}{2}$ до $C_1 + \frac{a}{2}$)

$$y = \frac{x}{NL} F C_1 + \frac{\overleftarrow{C-x}}{NL} q \left(x + C_2 + \frac{a}{2} - L \right) \left(\frac{L+x-C_2-\frac{a}{2}}{2} \right) + \frac{x}{NL} q \left(L - C_2 + \frac{a}{2} - x \right) \times$$

$$\times \left(\frac{L-x+C_2-\frac{a}{2}}{2} \right) - \frac{\text{sh } px}{Np \text{ sh } pL} F \text{ sh } p C_1 - \frac{\text{sh } p \overleftarrow{C-x}}{Np \text{ sh } pL} q \left(x + C_2 + \frac{a}{2} - L \right) \times$$

$$\times \text{sh } p \left(\frac{L+x-C_2-\frac{a}{2}}{2} \right) - \frac{\text{sh } px}{Np \text{ sh } pL} q \left(L - C_2 + \frac{a}{2} - x \right) \text{sh } p \left(\frac{L-x+C_2-\frac{a}{2}}{2} \right); \quad (5)$$

на третьем участке (x изменяется от $C_1 + \frac{a}{2}$ до $C_2 - \frac{a}{2}$)

$$y = \frac{x}{NL} F C_1 + \frac{\overleftarrow{C-x}}{NL} F \overleftarrow{C-C_2} - \frac{\text{sh } px}{Np \text{ sh } pL} F \text{ sh } p C_1 - \frac{\text{sh } p \overleftarrow{C-x}}{Np \text{ sh } pL} F \text{ sh } p \overleftarrow{C-C_2}; \quad (6)$$

на четвертом участке (x изменяется от $C_2 - \frac{a}{2}$ до $C_2 + \frac{a}{2}$)

$$y = \frac{\overleftarrow{C-x}}{NL} q \left(x + C_1 + \frac{a}{2} - L \right) \left(\frac{L+x-C_1-\frac{a}{2}}{2} \right) + \frac{x}{NL} q \left(L - C_1 + \frac{a}{2} - x \right) \times$$

$$\times \left(\frac{L-x+C_1-\frac{a}{2}}{2} \right) + \frac{\overleftarrow{C-x}}{NL} F \overleftarrow{C-C_2} - \frac{\text{sh } px}{Np \text{ sh } pL} q \left(x + C_1 + \frac{a}{2} - L \right) \times$$

$$\times \text{sh } p \left(\frac{L+x-C_1-\frac{a}{2}}{2} \right) - \frac{\text{sh } p \overleftarrow{C-x}}{Np \text{ sh } pL} q \left(L - C_1 + \frac{a}{2} - x \right) \text{sh } p \left(\frac{L-x+C_1-\frac{a}{2}}{2} \right) -$$

$$- \frac{\text{sh } p \overleftarrow{C-x}}{Np \text{ sh } pL} F \text{ sh } p \overleftarrow{C-C_2}; \quad (7)$$

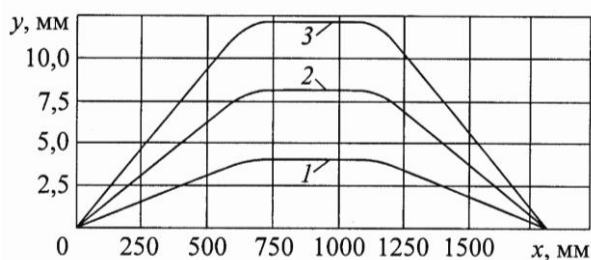
на пятом участке (x изменяется от $C_2 + \frac{a}{2}$ до L)

$$y = \frac{\overleftarrow{C-x}}{NL} F \overleftarrow{C-C_1} + \frac{\overleftarrow{C-x}}{NL} F \overleftarrow{C-C_2} - \frac{\text{sh } p \overleftarrow{C-x}}{Np \text{ sh } pL} F \text{ sh } p \overleftarrow{C-C_1} -$$

$$- \frac{\text{sh } p \overleftarrow{C-x}}{Np \text{ sh } pL} F \text{ sh } p \overleftarrow{C-C_2}. \quad (8)$$

Анализ уравнений (2) и (6) показал, что прогиб пилы между отжимными направляющими (f на рис. 2 и 3) при сосредоточенном приложении сил отжима F

Рис. 4. Зависимость прогиба ленточной пилы y от расстояния от оси ведущего шкива до рассматриваемой точки пилы x при установке отжимных направляющих в виде пластин ($s = 1$ мм, $b = 100$ мм, $N = 8000$ Н, $L = 1800$ мм, $C_1 = 650$ мм, $C_2 = 1150$ мм, $a = 150$ мм) при различной силе отжима F , Н: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 150



может оказывать незначительное влияние на точность пиления, а при использовании отжимных направляющих в виде пластин прогиб пилы между направляющими ничтожно мал и не влияет на точность пиления. Так, при $s = 1$ мм, $b = 100$ мм, $N = 8000$ Н, $L = 1800$ мм, $C_1 = 650$ мм, $C_2 = 1150$ мм, $a = 150$ мм, $\Delta = 10$ мм в первом случае $f = 0,11646$ мм, во втором – $0,00077$ мм.

На рис. 4 показаны кривые прогиба ленточной пилы с отжимными направляющими в виде пластин.

Характер прогибов пилы при сосредоточенном приложении силы F такой же, за исключением участков у границ направляющих. На этих участках кривизна пилы, а следовательно, и напряжения изгиба значительно больше во втором случае. Эти напряжения необходимо учитывать при оценке влияния отжимных направляющих на прочность ленточных пил.

Напряжение изгиба определим по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{W_x}, \quad (9)$$

где W_x – осевой момент сопротивления поперечного сечения пилы, мм^3 , $W_x = \frac{bs^2}{6}$;

$M_{\text{и}}$ – изгибающий момент в рассматриваемой точке, Н · мм, $M_{\text{и}} = -EI_x y''$;

I_x – осевой момент инерции поперечного сечения пилы, мм^4 , $I_x = \frac{bs^3}{12}$;

y'' – вторая производная прогиба пилы.

В уравнениях (2) и (7), приняв $x = C_1$ и $y = \Delta$ определим силу F , необходимую для отжима пилы на Δ . Наибольшие напряжения изгиба будут действовать в пиле на расстоянии $x = C_1$ (см. рис. 2 и рис. 3). Для их определения необходимо вторые производные прогибов, выраженных уравнениями (1) и (5), подставить в формулу (9).

Результаты расчетов силы отжима F и напряжений изгиба пилы на отжимных направляющих $\sigma_{\text{и}}$ от отжима Δ и силы натяжения пилы N при сосредоточенном (числитель) и распределенном (знаменатель) на длине a действии силы F приведены в таблице (параметры пилы и станка: $s = 1$ мм, $b = 100$ мм, $L = 1800$ мм, $C_1 = 650$ мм, $C_2 = 1150$ мм, $a = 150$ мм).

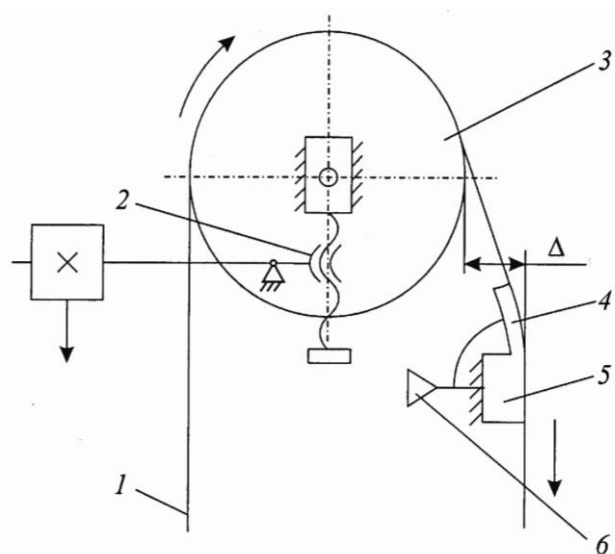
Из таблицы видно, что на отжимных направляющих в виде пластин длиной a напряжения изгиба значительно меньше, чем на узких, при сосредоточенном действии сил отжима. Сила натяжения N не влияет на напряжения изгиба пилы $\sigma_{\text{и}}$.

При использовании аэростатических направляющих в виде пластин требуется равномерное прилегание их к пиле. Приведенные в статье материалы позволяют

Отжим направляющей Δ , мм	Сила отжима пилы F , Н			Напряжения в пиле от изгиба на направляющих $\sigma_{из}$, МПа		
	7	8	9	7	8	9
5	53,85	61,54	69,23	<u>5,63</u>	<u>5,63</u>	<u>5,63</u>
				27,63	27,63	27,63
6	64,62	73,85	83,08	<u>6,75</u>	<u>6,75</u>	<u>6,75</u>
				33,15	33,15	33,15
7	75,38	86,15	96,92	<u>7,88</u>	<u>7,88</u>	<u>7,88</u>
				38,68	38,68	38,68
8	86,15	98,46	110,77	<u>9,00</u>	<u>9,00</u>	<u>9,00</u>
				44,21	44,21	44,21
9	96,92	110,77	124,62	<u>10,13</u>	<u>10,13</u>	<u>10,13</u>
				49,73	49,73	49,73
10	107,69	123,08	138,46	<u>11,25</u>	<u>11,25</u>	<u>11,25</u>
				55,26	55,26	55,26

рассчитать параметры переходного участка направляющей для конкретного ленточнопильного станка. При создании отжимных аэроэстатических направляющих, которые можно использовать для ленточнопильных станков с различными параметрами пил и узлов резания, необходимо, чтобы каждая отжимная направляющая имела два участка: один участок, обращенный к пильному шкиву, гибкий и должен деформироваться под давлением пилы, образуя переходную поверхность с кривизной, соответствующей толщине и силе натяжения пилы, выставке направляющих Δ и расстоянию от направляющей до шкива; другой участок, обращенный к распиливаемому материалу, жесткий и должен быть плоским для обеспечения прямолинейного движения ленточной пилы в зоне резания [2]. Конструкция такой направляющей показана на рис. 5.

Рис. 5. Верхняя часть узла резания ленточнопильного станка с новой конструкцией отжимной аэроэстатической направляющей: 1 – ленточная пила; 2 – механизм натяжения пилы; 3 – верхний пильный шкив; 4 и 5 – соответственно гибкий и жесткий участки отжимной аэроэстатической направляющей; 6 – воздухопровод



Выводы

1. Для повышения точности пиления древесины на ленточнопильных станках целесообразно использовать отжимные направляющие, установленные над и под распиливаемым материалом.

2. При использовании отжимных направляющих, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор, не требуется применение дорогих теплоизносостойких материалов, исключается нагревание и износ направляющих.

3. Удлиненные отжимные направляющие в виде пластин имеют следующие преимущества перед колодочными (или роликовыми): изгиб пилы между направляющими мал и не влияет на точность пиления, уменьшаются в несколько раз напряжения изгиба пилы на направляющих, обеспечивается выполнение рабочих поверхностей направляющих в виде аэростатических опор.

4. Полученные материалы могут быть использованы при конструировании отжимных направляющих и оценке долговечности ленточных пил при их применении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: монография. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. 380 с.

2. Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И. Отжимная аэростатическая направляющая ленточной пилы: пат. 2366569 РФ. № 2007145962/03; заявл. 10.12.2007; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 25.

3. Тимошенко С.П. Соппротивление материалов. 3-е изд. М.: Наука, 1965. Т. 2. 480 с.

Поступила 25.04.11

G.F. Prokofyev, M.V. Derbin

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Determination of Stresses in the Band Saw when Applying Wringer Guides

It has been theoretically proved that, depending on the type of the band saw guides the stresses in the saw vary significantly even when the bending is the same. The formulas for determining bending at any point of the band saw and the stresses in it have been given.

Keywords: precision of sawing, band saws, wringer guides, saw stresses, saw bending, durability.
