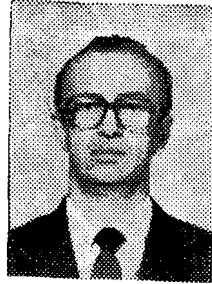


УДК 674.053 : 621.935

Г. Ф. ПРОКОФЬЕВ

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, чл.-кор. АЕН РФ, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 150 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



## НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

Показаны направления значительного повышения устойчивости пил и точности пиления за счет изменения конструкций ленточнопильных станков. Выполнены расчеты критической силы ленточной пилы, а также даны рекомендации по совершенствованию ленточнопильных станков.

The ways of significant raising of saws stability and cutting precision subject to modification of bandsawing machines have been revealed. The calculations of band saws' critical load have been made as well as recommendations on bandsawing machines' improvement have been given.

Ленточнопильные станки имеют преимущества перед другими видами лесопильного оборудования. К таким преимуществам относятся следующие: малая ширина пропила, высокое качество поверхности обрабатываемого материала, отсутствие больших сил инерции в узлах станка, малые энергозатраты. Вместе с отмеченными преимуществами им присущи и существенные недостатки: низкая точность пиления при больших скоростях подачи, малая долговечность пил, большие габарит и металлоемкость, высокий уровень шума. Первый недостаток наиболее существенен, поэтому вопросам повышения устойчивости ленточных пил уделяется большое внимание отечественными и зарубежными исследователями.

Ленточные пилы в зоне резания представляют собой тонкую стальную полосу, имеющую сравнительно небольшое натяжение, поэтому вопросы повышения их устойчивости, и следовательно, точность пиления имеют большое значение.

Цель работы — показать пути повышения устойчивости ленточных пил за счет уменьшения их свободных длин в плоскостях наибольшей и наименьшей жесткости и на основании расчетов дать рекомендации по совершенствованию ленточнопильных станков.

У ленточнопильных станков без контактных направляющих свободные длины пилы в плоскости наибольшей  $L$  и наименьшей  $l$  жесткости равны расстоянию между осями шкивов (рис. 1, а):

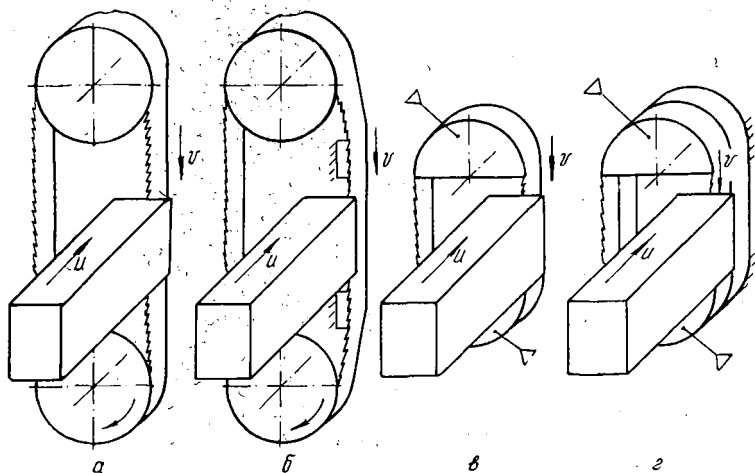


Рис. 1. Принципиальные схемы узлов резания ленточнопильных станков: а — без контактных направляющих; б — с контактными направляющими; в — с криволинейными аэроэстатическими направляющими; г — с криволинейными аэроэстатическими направляющими и неподвижной опорной лентой ( $v$ ,  $u$  — скорость пилы и подачи)

$D_{ш} + 450 \dots 900$  мм — для делительных станков;  $D_{ш} + 800 \dots 1400$  мм — для станков, распиливающих бревна ( $D_{ш}$  — диаметр шкивов) [7].

Отечественные ленточнопильные станки выпускают с направляющими. Величина зазора между ними и пилой для делительных и бревнопильных станков составляет соответственно  $0,2 \dots 0,3$  и  $0,3 \dots 0,6$  мм [7]. До касания пилой направляющих  $l = L$ , т. е. направляющие, установленные с зазором, не оказывают влияния на устойчивость пилы.

Во многих странах на ленточнопильных станках используют контактные отжимные направляющие (рис. 1, б), которые повышают устойчивость и жесткость пилы, а также точность ее движения в зоне резания. Применение контактных направляющих позволяет уменьшить  $l$  до максимальной высоты пропила  $h_{max}$ . На значения  $L$  контактные направляющие не влияют.

При использовании предложенной автором конструкции криволинейных аэроэстатических направляющих [3, 4] значения  $L$  и  $l$  могут быть одновременно уменьшены до максимальной высоты пропила  $h_{max}$  (рис. 1, в).

На рис. 1, г показана схема ленточнопильного станка, у которого пила и опорная лента огибают криволинейные опоры [1]. Под пилу подводят сжатый воздух, образующий аэроэстатические опоры. Опорная лента закреплена и не совершает движения. Ее толщина больше толщины пилы, но меньше ширины пропила. Для уменьшения трения к торцу опорной ленты подведена смазка. У ленточнопильного станка такого типа  $l \approx h_{max}$  и  $L = 0$ . Устойчивость пилы у него значительно больше, чем станков других конструкций. Кроме этого снижены боковые воздействия на пилу и исключена возможность зажима ее в пропиле.

Схемы для расчета устойчивости ленточных пил рассмотренных на рис. 1, а—г конструкций станков и различных вариантов ограничения  $l$  и  $L$  приведены на рис. 2, а—г.

Величину критической силы для первого варианта (см. рис. 1, а; рис. 2, а) находят по формуле [3]

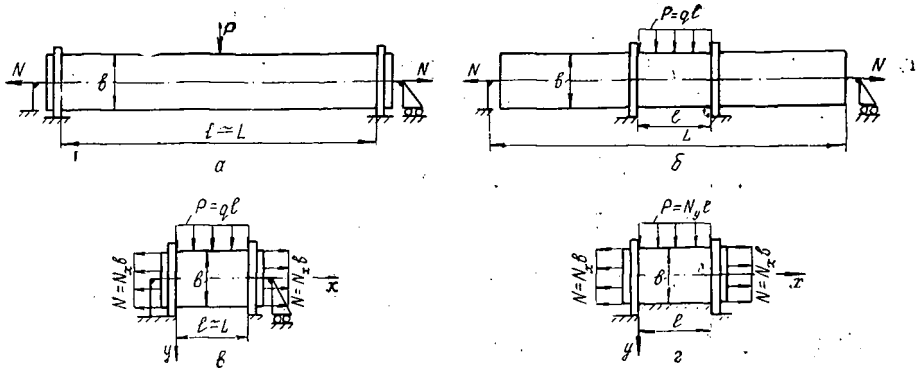


Рис. 2. Расчетные схемы для определения критической силы ленточной пилы  $P_{кр}$  при следующих вариантах ограничения свободных длин  $l$  и  $L$ : а — без контактных направляющих,  $l$  и  $L$  равны расстоянию между осями шкивов (вариант I); б —  $L$  равна расстоянию между осями шкивов;  $l$  — расстоянию между контактными направляющими (II); в —  $l$  и  $L$  равны расстоянию между криволинейными направляющими (III); г — пила в зоне резания опирается на опорную ленту,  $L = 0$ ,  $l$  равна расстоянию между криволинейными направляющими (IV)

$$P_{кр} = 1,65 \frac{Nb}{l} \left( \sqrt{2 + \frac{12C}{Nb^2}} - 1 \right), \quad (1)$$

где

- $N$  — сила натяжения пилы, Н;
- $l = L$  — свободная длина пилы, мм;
- $C = GI_k$  — крутильная жесткость пилы, Н · мм<sup>2</sup>;
- $G$  — модуль сдвига, Н/мм<sup>2</sup>;
- $I_k \approx \frac{bS^3}{3}$  — момент инерции поперечного сечения при кручении пилы, мм<sup>4</sup>;
- $b$  — ширина полотна пилы,  $b = B - h$ , мм;
- $B$  — ширина пилы, мм;
- $h$  — высота зубьев, мм;
- $S$  — толщина пилы, мм.

При  $L = l \gg h_{max}$  замена распределенной нагрузки  $qh$  на  $P$  оправдана, так как ошибка не превышает 2...4 %.

Критическую силу для второго варианта (см. рис. 1, б; рис. 2, б) определяют по формуле [5]

$$P_{кр} = q_{кр}l = \frac{\pi^2 Nb}{k^2 l} \left( \sqrt{1 + \frac{k^2}{3} + \frac{4k^2 C}{b^2 N}} - 1 \right), \quad (2)$$

где  $k = 2,14 + 4,93 (L/l - 1)$ .

Для пилы третьего варианта (см. рис. 1, в; рис. 2, в) критическая сила также может быть рассчитана по формуле (2). Для  $L = l$  имеем  $k = 2,14$ .

Расчетная формула для четвертого варианта (рис. 1, г; рис. 2, г) была получена с помощью энергетического метода исследования выпучивания пластинок [6]. Значение критической сжимающей нагрузки находят из условия

$$\Delta T = \Delta V, \quad (3)$$

где  $\Delta T$  — работа внешних сил;  
 $\Delta V$  — энергия деформации изгиба.

Упругую поверхность выпученной пластинки (участок пилы в зоне резания) можно представить двойным рядом

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{l} \sin \frac{n\pi y}{2b}, \quad (4)$$

где  $m$  и  $n$  — число полуволн выпученной пластинки соответственно в направлении осей  $x$  и  $y$ .

Работа внешних сил

$$\begin{aligned} \Delta T &= -\frac{1}{2} \int_0^l \int_0^b \left[ N_x \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - N_y \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy = \\ &= -\frac{\pi^2 b}{8l} N_x \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} m^2 a_{mn}^2 + \frac{\pi^2 l}{32b} N_y \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} n^2 a_{mn}^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Энергия деформации изгиба

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{D}{2} \int_0^l \int_0^b \left\{ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\mu) \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy = \frac{\pi^4 l b}{8} D \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn}^2 \left( \frac{m^2}{l^2} + \frac{n^2}{4b^2} \right)^2, \end{aligned} \quad (5a)$$

где  $D = \frac{ES^3}{12(1-\mu^2)}$  — цилиндрическая жесткость пластинки, Н · мм.

Подставляя  $\Delta T$  и  $\Delta V$  в (3) и выполняя математические преобразования, находим

$$N_y = \frac{4\pi^2 b^2 D \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn}^2 \left( \frac{m^2}{l^2} + \frac{n^2}{4b^2} \right)^2 + \frac{4b^3}{l^2} N_x \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} m^2 a_{mn}^2}{\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} n^2 a_{mn}^2}. \quad (6)$$

Для определения  $N_y$  надо так подобрать параметры  $a_{mn}$ , чтобы  $N_y$  стало минимальным. Это возможно в том случае, когда все коэффициенты  $a_{mn}$ , кроме одного, равны нулю, а также  $n = 1$  и  $m = 1$ .

Следовательно, критическое значение распределенной сжимающей силы

$$N_{y \text{ кр}} = 4\pi^2 b^2 D \left( \frac{1}{l^2} + \frac{1}{4b^2} \right)^2 + \frac{4b^3}{l^2} N_x.$$

Величину критической силы для четвертого варианта (рис. 1, 2; 2, 2) определяют по формуле

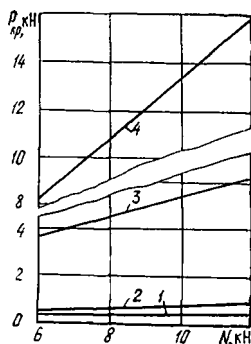
$$P_{\text{кр}} = N_{y \text{ кр}} l = 4\pi^2 b^2 D l \left( \frac{1}{l^2} + \frac{1}{4b^2} \right)^2 + \frac{4b^3}{l} N_x. \quad (7)$$

В таблице для четырех вариантов приведены значения  $P_{\text{кр}}$  при разных значениях силы  $N$  ( $S = 1$  мм,  $b = 100$  мм). Максимальная высота пропила  $h_{\text{max}} = 300$  мм. Свободная длина пилы в плоскости наибольшей жесткости: варианты I и II (см. рис. 1, а, б) —  $L = 1900$  мм; вариант III (рис. 1, в) —  $L = h_{\text{max}} = 300$  мм; вариант IV (рис. 1, г) —  $L = 0$ . Свободная длина пилы в плоскости наименьшей жесткости: вариант I (см. рис. 1, а) —  $l = L = 1900$  мм; варианты II—IV (рис. 1, б—г) —  $l = h_{\text{max}} = 300$  мм. При модуле упругости  $E = 2,15 \cdot 10^5$  МПа и  $\mu = 0,30$  цилиндрическая жесткость ленточной пилы  $D = 196,89$  Н · мм. На рис. 3 по данным таблицы построены графики зависимости силы  $P_{\text{кр}}$  от  $N$ .

Существующие ленточнопильные станки могут быть модернизированы за счет применения отжимных контактных направляющих. В этом случае значение  $l$  уменьшается в несколько раз. Однако  $L$  не изменя-

Вариант органи- чения свобод- ных длин пилы	Критическая сила пилы, Н, при силе натяжения, Н			
	6 000	8 000	10 000	12 000
I	308	282	454	577
II	473	601	728	855
III	3 570	4 434	5 293	6 148
IV	8 023	10 694	13 360	16 027

Рис. 3. Зависимость критической силы ленточной пилы  $P_{кр}$  от силы натяжения  $N$  ( $S = 1$  мм;  $b = 100$  мм; варианты ограничения  $l$  и  $L$  приведены на рис. 2): 1 — I; 2 — II; 3 — III; 4 — IV



ется, поэтому устойчивость пилы повышается незначительно. Контактные направляющие повышают жесткость пилы и точность ее движения в зоне резания.

При использовании ленточнопильных станков с аэростатическими направляющими значение  $l$  и  $L$  могут быть уменьшены до  $h_{max}$ , устойчивость пилы увеличена в 11 раз. Высокая точность пиления достигается при меньших значениях сил  $N$ , радиус криволинейных направляющих не влияет на величину  $l$  и  $L$ , отсутствует биение и инерционность шкивов. Все это позволяет, как показывают расчеты и подтверждают испытания [2], повысить долговечность пилы до 20 раз и использовать пилы, оснащенные пластинками из твердого сплава. Значительно уменьшается уровень шума, масса и габаритные размеры ленточнопильного станка. Испытания в производственных условиях экспериментального образца ленточнопильного станка подтвердили его высокую эффективность.

При опирании пилы, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим, на неподвижную опорную ленту свободная длина пилы может быть уменьшена до нуля. Как показывают расчеты, устойчивость пилы может быть повышена в 26—30 раз по сравнению с устойчивостью пилы ленточнопильного станка традиционной конструкции и в 2,2—2,6 раз по сравнению с устойчивостью пилы, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим. Это направление требует дальнейшего научного изучения и технической проработки.

Приведенные в статье данные позволяют определить направления совершенствования ленточнопильных станков и оценить их эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. А. с. 1813629 СССР, МКИ В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Г. Ф. Прокофьев (СССР).— № 4918117/15; Заявлено 11.03.91; Оpubл. 07.05.93; Бюл. № 17 // Открытие. Изобретения.— 1993.— № 17.— С. 94. [2]. Прокофьев Г. Ф. Долговеч-

ность пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими // *Деревообаб. пром-сть.*—1991.—№ 5.—С. 8—10. [3]. Прокофьев Г. Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами.—М.: Лесн. пром-сть, 1990.—240 с. [4]. Прокофьев Г. Ф. Ленточнопильный станок с пилой на воздушной подушке // *Лесн. пром-сть.*—1994.—№ 2.—С. 9—10. [5]. Прокофьев Г. Ф. Устойчивость рамных и ленточных пил в направляющих // *Совершенствование конструкций и методов подготовки и эксплуатации режущего инструмента и деревообрабатывающего оборудования: Науч. тр. / ЦНИИМОД.*—1977.—С. 43—48. [6]. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем / Пер. с англ. И. Н. Снитко.—2-е изд.—М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.—567 с. [7]. Фектистов А. Е. Ленточнопильные станки.—М.: Лесн. пром-сть, 1976.—152 с.

Поступила 7 марта 1995 г.