

УДК 621.933.3

Г.Ф. Прокофьев, Н.Ю. Микловцик, А.М. Тюрин

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

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 Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.
Тел.: 8(8182) 21-61-67



Микловцик Николай Юрьевич родился в 1944 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доцент кафедры прикладной механики и основ конструирования Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 70 научных трудов в области механической обработки древесины и промышленной безопасности предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты.
Тел.: 8-931-404-00-76



Тюрин Алексей Михайлович родился в 1985 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования, преподаватель ФГОУ СПО «Архангельский лесотехнический колледж Императора Петра I».
E-mail: alexejtyrin@rambler.ru



ЛЕСОПИЛЬНЫЙ СТАНОК С НЕРАСТЯНУТЫМИ «ПЛАВАЮЩИМИ» ПОЛОСОВЫМИ ПИЛАМИ, СОВЕРШАЮЩИМИ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В НАПРАВЛЯЮЩИХ

Выявлены условия, при которых возможно точное пиление древесины нерастянутыми полосовыми пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в аэростатических направляющих, указаны параметры станка и его достоинства.

Ключевые слова: точность пиления древесины, жесткость и устойчивость полосовых пил, условия точного пиления, направляющие для пил, конструкция лесопильного станка, достоинства станка.

Для обеспечения требуемой точности пиления древесины необходимо, с одной стороны, уменьшить силы, действующие на пилы в процессе пиления, с другой – повысить способность пил противодействовать этим силам (жесткость и устойчивость). В РПИ 6.1-00 [5] отмечается, что для качественного и производительного пиления древесины рамные пилы при высоте пропила менее 500 мм должны иметь начальную жесткость, равную 60...70 Н/мм.

На начальную жесткость j_n рамных пил оказывают влияние большое число факторов: свободная длина пилы в плоскости ее наименьшей жесткости l , сила натяжения N , толщина пилы s , ширина полотна пилы b , эксцентриситет линии натяжения e , начальное напряженное состояние пилы. Значимо влияют на начальную жесткость пилы свободная длина пилы и сила натяжения.

С направляющими для пил, установленными над и под распиливаемым материалом, свободная длина пил уменьшается на ход пил H , т. е. в несколько раз, и при определенной высоте пропила требуемая жесткость может быть обеспечена при отсутствии натяжения ($N = 0$) за счет собственной жесткости пилы j_c .

В работах [3, 4] методами конечных элементов и Б.Г. Галеркина выполнены расчеты прогибов нерастянутых рамных пил под действием боковой сосредоточенной силы, приложенной на середине линии межзубовых впадин и полотна пилы.

Значения прогибов, определенных расчетным путем с использованием методов конечных элементов и Б.Г. Галеркина, практически совпадают.

Экспериментальные исследования подтвердили правильность принятых допущений и точность теоретических расчетов. Разность между теоретическими и экспериментальными данными не превышала 4 %. Жесткость пилы определяли из выражения

$$j = Q_i/y.$$

Значения жесткости нерастянутой рамной пилы j , свободная длина l которой ограничена направляющими, приведены в таблице. На рис. 1 по данным таблицы получены зависимости жесткости j от свободной длины l при фиксированной ширине полотна пилы ($b = 100$ мм) и разных толщинах пил. Требуемая для точного пиления жесткость, равная 60 Н/мм, достигается, как определено из графиков (рис. 1), для $b = 100$ мм при

$$l = 122s - 48,8. \quad (1)$$

Свободная длина пилы l равна расстоянию между направляющими и определяется высотой пропила, поэтому целесообразно определить толщину пилы в зависимости от свободной длины пилы l . Такая зависимость имеет вид

$$s = 0,008l + 0,5. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что для $l = 200$ мм и $b = 100$ мм необходимая жесткость пилы достигается при $s = 2,1$ мм. Принимаем ближайшую большую стандартную толщину $s = 2,2$ мм.

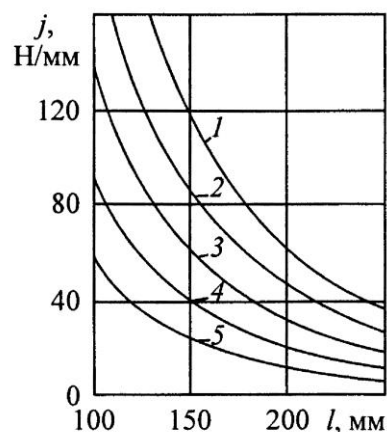
Влияние ширины полотна, толщины и свободной длины на жесткость зубчатой кромки нерастянутой рамной пилы

Свободная длина, мм	Жесткость пилы, Н/мм, при ширине, мм, и толщине пилы, мм											
	100					125	150					175
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,8
100	56,1	89,2	132,6	180,6	258,2	192,4	57,0	90,8	135,3	192,3	265,1	194,3
150	23,5	37,4	55,9	79,8	109,0	82,8	24,9	39,6	59,1	84,2	115,4	84,9
200	12,0	19,2	28,6	40,7	55,7	44,0	13,6	17,6	32,1	45,7	62,9	46,7
250	17,0	11,5	16,7	23,7	32,7	26,1	8,3	13,4	19,5	27,8	38,3	28,9

Условие $j \geq 60$ Н/мм является необходимым для обеспечения требуемой точности пиления древесины полосовой пилой, но не достаточным. Второе условие [2] – критическая сила пилы $P_{кр}$ должна превышать максимальную горизонтальную силу резания (силу отжима) не менее чем в 1,25 раз:

$$P_{кр} \geq 1,25P_{\max}. \quad (3)$$

Рис. 1. Зависимость жесткости j зубчатой кромки нерастянутой ($N = 0$) рамной пилы от свободной длины l при ширине полотна $b = 100$ мм и различной толщине, мм:
 $l - 2,0; 2 - 1,8; 3 - 1,6; 4 - 1,4; 5 - 1,2$



Теоретические исследования устойчивости рамных пил в направляющих выполнены в работе [4]. Для нерастянутых рамных пил в направляющих рекомендуется следующая формула для расчета критической силы с учетом равномерной распределенности нагрузки по высоте пропила:

$$P_{кр} = (ql)_{кр} = \frac{133,7 \cdot 10^4 b s^3}{m l^2} \left(1 - 1,27 \frac{b}{m l}\right), \quad (4)$$

где $m = 4,93 L/l - 2,79$;

L – свободная длина пилы в плоскости ее наибольшей жесткости.

Формула (4) показывает большое влияние на $P_{кр}$ свободных длин l и L . Так, для $L = 600$ мм, $s = 2,2$ мм, $b = 120$ мм при изменении l от 200 до 100 мм устойчивость пил возрастает в 1,7 раза. Отсюда следует, что необходимо уменьшать свободную длину l за счет установки направляющих для пил над и под распиливаемым материалом. При этом необходимо предусмотреть регулировку положения верхних направляющих в соответствии с изменением высоты пропила (высоты распиливаемого бруса). Для обеспечения высокой точности пиления нерастянутыми пилами необходимо уменьшить и длину пил в плоскости наибольшей жесткости L , которая оказывает большое влияние на устойчивость пил ($P_{кр}$): для $l = 200$ мм, $s = 2,0$ мм, $b = 120$ мм при уменьшении L от 800 до 600 и 400 мм $P_{кр}$ возрастает соответственно в 1,38 и 2,4 раза. На уменьшение l и L следует обратить особое внимание, так как оно может быть осуществлено конструктивным путем за счет создания нового лесопильного станка с нерастянутыми полосовыми пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в направляющих.

Следует отметить, что на устойчивость пилы сильно влияют и размеры сечения пилы – толщина s и ширина полотна b : при увеличении толщины пилы от 1,6 до 2,2 мм ($l = 200$ мм, $L = 600$ мм, $b = 120$ мм) и ширины полотна пилы от 120 до 160 мм ($l = 200$ мм, $L = 600$ мм, $s = 2,2$ мм) $P_{кр}$ возрастает соответственно в 2,6 и 1,3 раза. Необходимо сохранять постоянство ширины полотна пилы, например, за счет оснащения зубьев пил твердым сплавом. Отсутствие натяжения пил и возможность согласования скоростей резания и подачи обеспечивают надежность работы таких пил. Увеличение толщины пил дает большой эффект для повышения устойчивости. Однако при этом одновременно возрастает расход древесины в опилки, увеличиваются энергозатраты и силы резания, поэтому переход на более толстые пилы возможен в крайнем случае, если устойчивости пил недостаточно и она не может быть увеличена другими средствами.

Кроме выполнения первого условия ($j \geq 60$ Н/мм), для обеспечения точного пиления древесины нерастянутыми полосовыми пилами необходимо выполнить второе условие ($P_{кр} \geq 1,25P_{max}$), т. е. необходимо знать не только устойчивость пил $P_{кр}$, но и максимальную силу отжима P_{max} .

Максимальная сила отжима связана со средней касательной силой резания соотношением [6] $P_{max} = 2,1R_{cp}$.

Так как [1]

$$R_{cp} = \frac{Kb'hU_{zcp}}{2t}, \text{ то } P_{max} = \frac{2,1Kb'hU_{zcp}}{2t}, \quad (5)$$

где K – удельная работа резания, Н/мм²;

b' – ширина пропила, $b' = s + 2s'$, мм;

s' – уширение зубьев на сторону, мм;

h – высота пропила, мм;

U_{zcp} – средняя подача на зуб, мм;

t – шаг зубьев пилы, мм.

Удельная работа резания при распиловке ели, сосны и пихты определяется по уравнению [1]

$$K = 37 + \frac{0,2h}{s + 2s'} + \frac{7,2a_p}{U_{zcp}}. \quad (6)$$

Приняв для продолжительности работы пил 160 мин коэффициент затупления зубьев $a_p = 1,6$; $s' = 0,8$ мм; $U_{zcp} = 1,8$ мм; $t = 26$ мм и подставив значение K в уравнение (5) [6], имеем

$$P_{max} = 0,073h(43,4S + 0,2h + 69,44). \quad (7)$$

Определим из условия (3) максимальную свободную длину L и ход пил H . Ширина полотна нерастянутой пилы может изменяться в пределах 120...160 мм. Расчеты выполним для наименьшей ширины полотна пилы $b = 120$ мм. Требуемую толщину пилы определим из выражения (2) для $l = 200$ мм. Получаем $s = 2,1$ мм, принимаем стандартную толщину $s = 2,2$ мм.

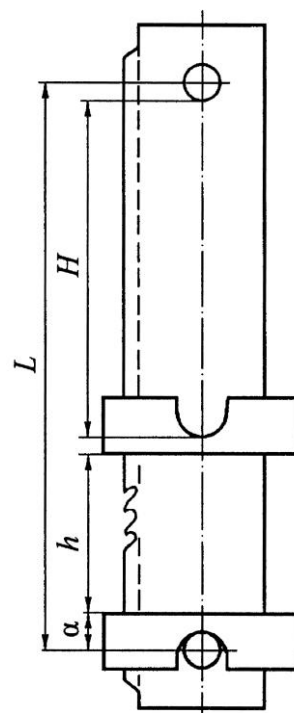
Подставив в выражение (3) значения $P_{кр}$ (4) и P_{max} (7) при $l = h = 200$ мм, $s = 2,2$ мм и $b = 120$ мм, имеем $m = 13,47$ и $L = 650,4$ мм.

Из рис. 2, на котором представлена схема рамной пилы в направляющих, видим, что свободная длина

$$L = l + H + 2a.$$

Если конструктивно принять $a = 75$ мм, то при $l = 200$ мм ход пил не должен превышать $H = 300$ мм.

Рис. 2. Схема нерастянутой рамной пилы в направляющих



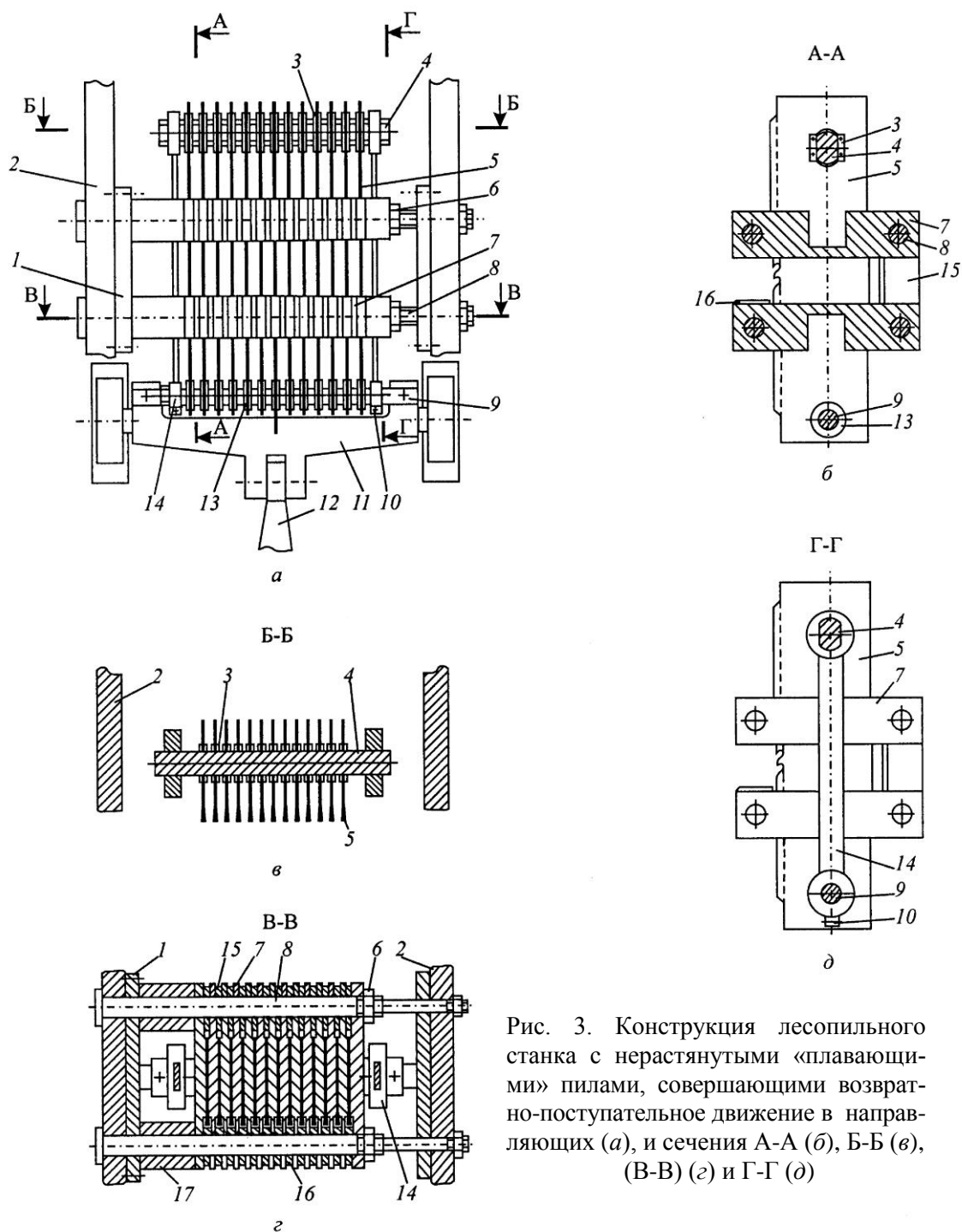


Рис. 3. Конструкция лесопильного станка с нерастянутыми «плавающими» пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в направляющих (а), и сечения А-А (б), Б-Б (в), (В-В) (г) и Г-Г (д)

На основании выполненных исследований предложена конструкция нового лесопильного станка с нерастянутыми полосовыми пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в направляющих. Станок нельзя назвать лесопильной рамой, а пилы рамными, так как у него отсутствует пильная рама, а также захваты, струбцины и межпилынные прокладки. На рис. 3 показан общий вид лесопильного станка с сечениями А-А, Б-Б, В-В и Г-Г.

Узел резания лесопильного станка содержит станину 2, на которой закреплены плиты 1. Сквозь отверстия, выполненные в станине и плитах, проходят стержни 8, на которые надеты направляющие 7. Толщина направляющих соответствует требуемому расстоянию между пилами 5, надетыми на верхний 4 и нижний 9 горизонтальные стержни. Нижний стержень закреплен на поперечине 11, связанной с кривошипно-шатунным механизмом 12. На концы верхнего и нижнего стержней надеты кронштейны 14, соответственно верхними и нижними отверстиями, выполненными в них. Кронштейны имеют возможность поворота относительно оси нижнего стержня с жесткой фиксацией в этом положении с помощью фиксаторов 10.

В нижних частях пил выполнены круглые отверстия, на которых закреплены втулки 13, охватывающие нижний горизонтальный стержень, в верхних частях пил – отверстия, на краях которых закреплены планки 3, охватывающие направляющие плоские поверхности верхнего горизонтального стержня. Между направляющими установлены прокладки. Нижние передние по направлению подачи прокладки 16 выступают над направляющими 7. Выступающие части прокладок выполнены в виде лезвий ножей. За каждой пилой установлен нож 15, концы которого служат прокладками между направляющими для пил. При такой конструкции направляющие ножи всегда находятся в одних плоскостях с пилами. Для установки крайних направляющих на определенном расстоянии от базовых поверхностей плит и параллельно им располагаются разделительные втулки 17. Гайки 6 служат для выборки зазоров между направляющими 7 и прокладками и ориентирования направляющих параллельно базовым поверхностям плит 1.

Узел резания лесопильного станка работает следующим образом.

Кронштейны 14 поворачиваются на угол, соответствующий скорости подачи распиливаемого материала, для избежания скобления зубьями пил распиливаемого материала при холостом ходе. Рамные пилы 5, надеты на стержни 4 и 9, совершают возвратно-поступательное движение в направляющих 7. Планки 3, закрепленные на пиле, уменьшают удельное давление на стержень 4. При движении распиливаемого материала по выступающим частям прокладок 16 предотвращается его перебазирование в процессе пиления и уменьшаются боковые силы. Направляющие ножи 15 исключают зажим пил в пропиле и повышают точность движения распиливаемого материала.

Для уменьшения трения пил рабочие поверхности направляющих целесообразно выполнить в виде аэростатических опор.

Предварительные расчеты показывают, что лесопильный станок нового типа имеет следующие преимущества по сравнению с существующими лесопильными рамами того же назначения: снижаются габариты и металлоемкость в 2–3 раза; уменьшаются энергозатраты на 15...20 % и расход древесины в опилки на 30...40 %; обеспечивается получение пиломатериалов высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Минск: Вышэйш. шк., 1975. 303 с.
2. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.

3. Прокофьев Г.Ф., Королев И.Ю. Расчет прогибов и жесткости нерастянутых рамных пил в направляющих методом Б.Г. Галеркина. Архангельск: ЦНИИМОД, 1983. 11 с. (Деп. во ВНИПИЭИлеспрое, 11.09.83, № 1132 Д).

4. Прокофьев Г.Ф., Королев И.Ю., Усачев В.Л. Исследование прогибов нерастянутых рамных пил в направляющих методом конечных элементов. Архангельск: ЦНИИМОД, 1983. 16 с. (Деп. во ВНИПИЭИлеспрое, 01.09.83, № 1096 Д).

5. Технологические режимы РПИ 6.1–00 «Подготовка рамных пил» / Г.Ф. Прокофьев. Архангельск: ЦНИИМОД, 1987. 40 с.

6. Экспериментальные исследования сил резания в двухэтажных лесопильных рамах серийных конструкций / С.М. Хасдан [и др.]. // Научн. тр. ЦНИИМОД. 1964. Вып. 18. С. 177–193.

Поступила 13.12.10

G.F. Prokofiev, N.Yu. Miklovtsik, A.M. Tyurin

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

Saw Machine with Nonstretched “Floating” Drag Saws Making Reciprocating Motion in Guides

The conditions are revealed for accurate wood sawing by nonstretched drag saws making reciprocating motion in aerostatic guides. The machine parameters and its advantages are stated.

Keywords: accuracy of wood sawing, strength and durability of drag saws, accurate sawing conditions, saw guides, saw machine design, machine advantages.

