

УДК 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО СТАНКА С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ АЭРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: g.prokofjev@narfu.ru

Ленточнопильные станки, получившие широкое применение в лесопилении благодаря малой ширине пропила, низкой шероховатости поверхности пиломатериалов, возможности распиловки бревен больших диаметров, имеют ряд недостатков: невысокая точность пиления на высоких скоростях подачи распиливаемого материала, малая долговечность пил, большие габаритные размеры и металлоемкость. На основании разработок и технических решений нами создан экспериментальный ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным направляющим, рабочая поверхность которых выполнена в виде аэростатических опор. Исследования показали его неоспоримые преимущества по сравнению со станками традиционной конструкции, имеющими пильные шкивы: значительно повышается точность пиления за счет уменьшения свободной длины пилы в 5–6 раз и отсутствия биения и инерционности шкивов; возрастает в 20 раз и более долговечность пилы; снижаются габаритные размеры и металлоемкость. Созданный образец ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими, хотя и имеет перечисленные выше достоинства, но работы по дальнейшему совершенствованию его конструкции целесообразно продолжить по двум направлениям: совершенствование узла резания для повышения жесткости и устойчивости пилы, а следовательно, и точности пиления; модернизация механизма привода пилы для увеличения надежности его работы. Рассмотрены некоторые технические решения по улучшению конструкции ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими.

Ключевые слова: ленточнопильный станок, криволинейные аэростатические направляющие, узел резания, механизм привода пилы, линейный электродвигатель, ограничительные ролики.

Вопросы совершенствования ленточнопильных станков освещены в работах [8–10, 17–21]. Выполненные нами исследования по совершенствованию пиления древесины на ленточнопильных станках и технические разработки [1–7, 11–16] позволили создать экспериментальные ленточнопильные станки с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим.

Общий вид экспериментальных делительных станков приведен на рис. 1, описание их конструкции – в [12, 15, 16]. Испытания этих станков в производственных условиях на ЭПЗ «Красный Октябрь» подтвердили перспективность выбранного нами направления совершенствования ленточнопильного оборудования.

Для цитирования: Прокофьев Г.Ф. Совершенствование конструкции ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 99–108. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

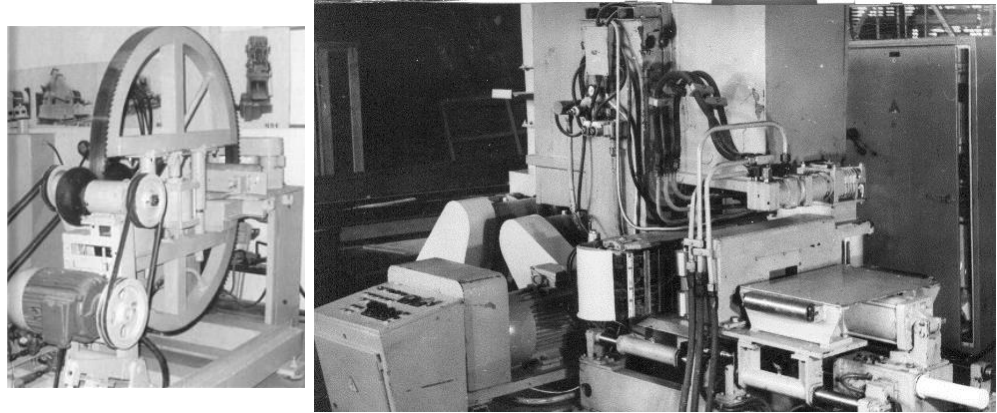


Рис. 1. Общий вид экспериментальных делительных ленточнопильных станков:
а – ЛСД-150; *б* – ЛД 150-1Э

Совершенствование ленточнопильных станков с криволинейными аэростатическими направляющими следует вести по двум направлениям:

совершенствование узла резания для повышения жесткости и устойчивости пилы, а следовательно, и точности пиления;

совершенствование механизма привода пилы для увеличения надежности его работы.

В экспериментальных станках ЛСД-150 и ЛСД-150-1Э привод ленточной пилы осуществляется с помощью фрикционных колес, представляющих собой шины типа 310×135 модели 6 по ТУ 3800440–77. Были выполнены экспериментальные исследования привода ленточной пилы [13, 16] и определены предельная сила прижима колес к пиле и их деформация, коэффициент сцепления колес с пилой, оптимальное давление в камере шины колеса; получена формула для расчета числа приводных колес в зависимости от характеристики распиливаемого материала и режимов пиления. Установлено, что при использовании в приводе пилы 4 шт. приводных колес свободная длина пилы (расстояние между опорами) значительно возрастает, что снижает жесткость и устойчивость пилы, а следовательно, и точность пиления. В этом случае рекомендуется между криволинейными направляющими устанавливать дополнительные аэростатические направляющие, одна из которых снабжена прижимной пружиной. Конструкция такого узла резания приведена на рис. 2.

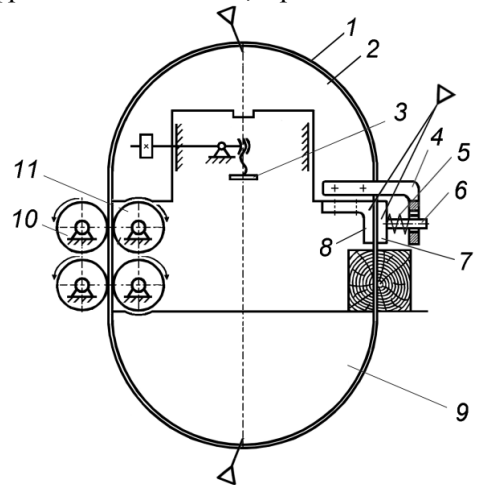


Рис. 2. Схема узла резания ленточнопильного станка, защищенная а. с. № 1731632 [5]: 1 – ленточная пила; 2, 9 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 4 – кронштейн; 5 – пружина; 6 – стержень; 7, 8 – дополнительные аэростатические направляющие; 10, 11 – приводные фрикционные колеса

Диаметр отверстий поддува в аэростатических направляющих должен быть переменным в зависимости от натяжения пилы, определяемого высотой пропила и режимами пиления, поэтому рекомендуется в криволинейных направляющих закреплять сменные втулки (жиклеры), имеющие разные диаметры отверстий поддува. При этом на их торцах выполняются распределительные канавки, совпадающие с распределительными канавками на криволинейных направляющих. Конструкция узла резания такого станка показана на рис. 3.

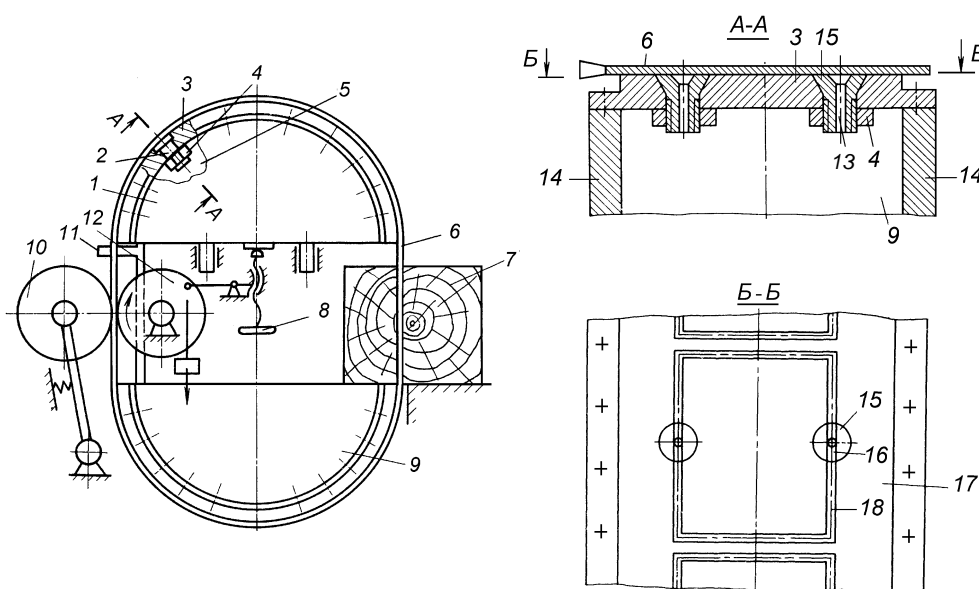


Рис. 3. Схема узла резания ленточнопильного станка, защищенная а. с. № 1230818 [3]: 1, 9 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 2 – сменная втулка; 3 – криволинейная крышка; 4 – гайка; 5 – полость; 6 – ленточная пила; 7 – распиливаемый материал; 8 – механизм натяжения пилы; 10, 12 – соответственно прижимное и приводное фрикционные колеса; 11 – воздухоподводящая магистраль; 13 – отверстие поддува; 14 – корпус криволинейной направляющей; 15 – торец втулки; 16 – распределительная канавка на торце втулки; 17 – рабочая поверхность криволинейной направляющей; 18 – распределительная канавка на криволинейной направляющей

В работе [14] предложена конструкция узла резания (рис. 4) ленточнопильного станка, у которого криволинейные направляющие огибают ленточная пила и опорная лента.

Под пилу подводится сжатый воздух, образуя аэростатические опоры, при этом пила совершает однонаправленное движение и резание древесины. Опорная лента закреплена и не совершает движение. Толщина t опорной ленты больше толщины пилы s , но меньше ширины пропила:

$$s < t < s + 2s',$$

где s' – уширение зубьев на сторону.

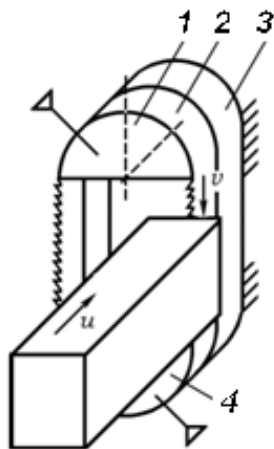


Рис. 4. Принципиальная схема ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим и неподвижной опорной ленте (а. с. № 1813629 [6]): 1, 4 – верхняя и нижняя криволинейные аэроэстатические направляющие; 2 – ленточная пила; 3 – неподвижная опорная лента

Для уменьшения трения к торцу опорной ленты подведена смазка. Опорная лента выполняет роль расклинивающего и направляющего ножа. У ленточнопильного станка такого типа свободная длина пилы в плоскости ее наибольшей жесткости равна 0. Ее устойчивость значительно выше, чем у станков других конструкций.

Расчеты, выполненные в работе [14], показывают, что устойчивость пилы этого станка в 26–30 раз выше, чем у ленточнопильного станка традиционной конструкции с пильными шкивами, и в 2,2–2,6 раза выше по сравнению с устойчивостью пилы, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим без опорной ленты. Это техническое решение требует глубокой конструкторской проработки.

Распиловка древесины на экспериментальных ленточнопильных станках с криволинейными аэроэстатическими направляющими показала устойчивую работу пилы за счет механизма привода и конструкции направляющих. Однако при интенсификации пиления возможен сход пилы с аэроэстатических направляющих от сил, действующих на нее в направлении подачи. Для исключения подобной аварийной ситуации недостаточно установки двух свободно вращающихся роликов у задней кромки пилы (и у столярных, и у горизонтальных ленточнопильных станков), так как через две точки можно провести бесконечно большое количество плоскостей. Для того, чтобы периферийные точки ограничительных роликов образовывали одну плоскость, перпендикулярную направлению подачи, необходимы именно три ролика, причем два из них должны быть расположены за задней кромкой пилы, над и под распиливаемым материалом, а третий – у холостой ветви пилы. Конструкция узла резания ленточнопильного станка показана на рис. 5.

Эффективность работы ленточнопильного станка в значительной степени зависит от конструкции механизма привода ленточной пилы. Он должен быть надежным, компактным, управляемым.

В экспериментальных ленточнопильных станках ЛСД-150 и ЛД 150-1Э привод осуществляется с помощью фрикционных колес. Возможны и другие варианты привода ленточнопильной пилы.

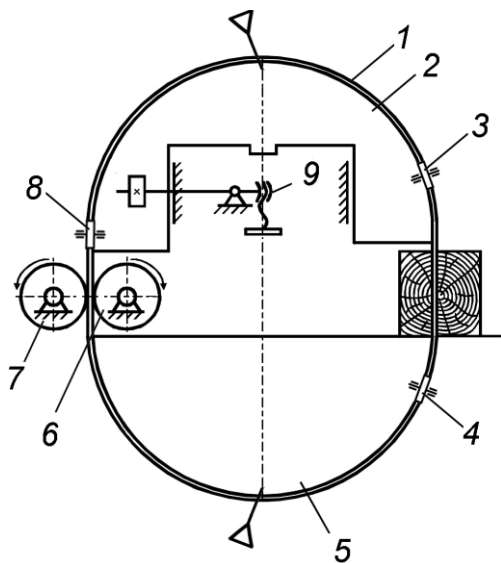


Рис. 5. Схема узла резания (вид сзади) ленточнопильного станка, защищенная а. с. № 17204458 [4]: 1 – ленточная пила; 2, 5 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 3, 4, 8 – ограничительные ролики; 6, 7 – приводные фрикционные колеса; 9 – механизм натяжения пилы

На рис. 6 показана конструкция узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы от электродвигателя через ременную передачу.

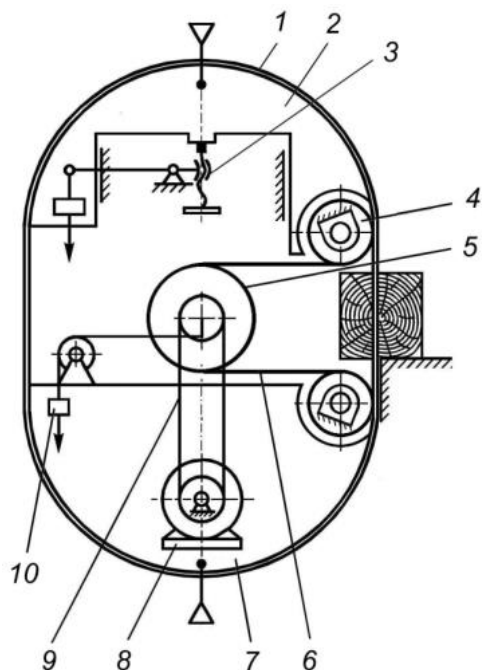


Рис. 6. Схема узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы приводным ремнем, защищенная а. с. № 949924 [2]: 1 – ленточная пила; 2, 7 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 4 – ролик; 5 – шкив; 6, 9 – ремни; 8 – электродвигатель; 10 – груз

Ленточная пила насажена на ремень, огибающий верхнюю и нижнюю криволинейные направляющие, опорные ролики и шкив, приводимый в движение от электродвигателя через ременную передачу. Натяжение пилы осуществляется с помощью механизма натяжения, натяжение приводного ремня – с помощью груза. Для уменьшения трения ремня о криволинейные направляющие к рабочим поверхностям последних подведен сжатый воздух, образующий аэростатические опоры. Пила на большой площади находится в контакте с ремнем

(например, синтетическим по ТУ 17-1245–74) и приводится в движение за счет силы трения.

На рис. 7 приведена конструкция узла резания ленточной пилы с приводом от линейного (дугостаторного) электродвигателя.

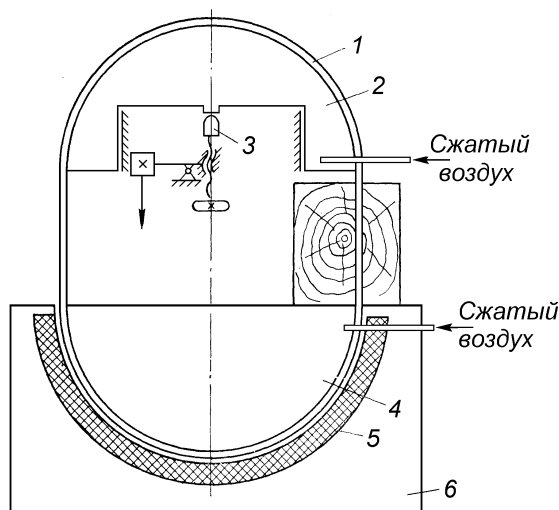


Рис. 7. Схема узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы от линейного (дугостаторного) электродвигателя, защищенная а. с. № 818862 [1]: 1 – ленточная пила; 2, 4 – соответственно верхние и нижние криволинейные аэростатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 5 – обмотка статора; 6 – корпус статора

В конструкции этого узла резания ленточная пила надета на верхнюю и нижнюю криволинейные направляющие, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор. Привод пилы осуществляется с помощью линейного (дугостаторного) электродвигателя, обмотка которого уложена на внутренней цилиндрической поверхности статора, охватывающей нижнюю направляющую ленточной пилы. Достоинства такого станка:

- предельное уменьшение габаритных размеров и металлоемкости;
- упрощение конструкции (отсутствуют механические передачи, движется только режущий инструмент);
- магнитное поле статора отжимает пилу от аэростатических опор, образуя аэромагнитную опору.

Для эффективной работы привода пилы с помощью линейного электродвигателя материал пилы кроме упругих свойств должен обладать и электромагнитными. В техническом решении по а. с. № 1813630 [7] для повышения коэффициента полезного действия (КПД) привода и его надежной работы на поверхности ленточной пилы, обращенной к обмотке статора, рекомендуется выполнять фигурное углубление в виде «беличьего колеса», на которое необходимо наносить слой материала, обладающего высокими электромагнитными свойствами.

Недостатки привода ленточных пил по а. с. № 818862 [1] и а. с. № 1813630 [7]:

- разомкнутость магнитной цепи электродвигателя;
- наличие граничных эффектов, что уменьшает КПД привода и эффективность его работы; этот недостаток может быть устранен при использовании технического решения [11].

Конструкция узла резания ленточнопильного станка с приводом и линейным электродвигателем с замкнутой обмоткой статора показана на рис. 8.

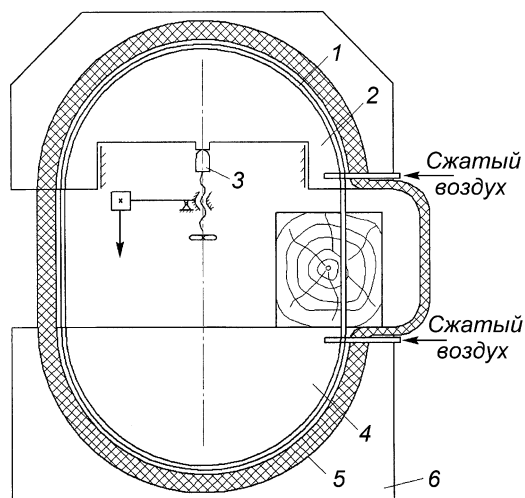


Рис. 8. Схема узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы от линейного электродвигателя с замкнутой обмоткой статора, защищенная пат. № 2487013 [11]: 1 – ленточная пила; 2, 4 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэроэстатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 5 – обмотка статора; 6 – корпус статора

Станок работает следующим образом. Ленточная пила, установленная на верхней и нижней направляющих, предварительно натягивается с помощью механизма натяжения. Для уменьшения трения между пилой и направляющими к рабочим поверхностям последних подается сжатый воздух, образуя аэроэстатические опоры. При подводе электроэнергии к линейному электродвигателю его обмотка создает бегущее магнитное поле, перемещающее ленточную пилу, которая является одновременно и ротором электродвигателя. При этом магнитное поле создает притяжение пилы к обмотке электродвигателя, что улучшает условия работы ленточной пилы и снижает расход сжатого воздуха. Использование замкнутой обмотки линейного электродвигателя большой протяженности позволяет повысить КПД электродвигателя и его тяговую способность.

Выводы

1. Предложенные варианты конструкций ленточнопильных станков с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим, имеют ряд существенных достоинств по сравнению с традиционными ленточнопильными станками с пильными шкивами.

2. В связи с тем, что разработанные нами технические решения обладают мировой новизной, необходимо продолжить исследовательские и конструкторские работы для совершенствования ленточного пиления древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 818862 СССР, МПК В 27 В 15/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 2610721/29–15; заявл. 04.05.78; опубл. 07.04.81, Бюл. № 13.
2. А. с. 949924 СССР, МПК В 27 В 13/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 2721970/29–15; заявл. 06.02.79; опубл. 30.08.83, Бюл. № 32.
3. А. с. 1230818 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф., Ходерян Б.А. № 3708295/29–15; заявл. 07.03.84; опубл. 15.05.86, Бюл. № 18.
4. А. с. 1724458 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4647705/15; заявл. 08.02.89; опубл. 07.04.92, Бюл. № 13.
5. А. с. 1731632 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4794628/15; заявл. 26.12.89; опубл. 07.05.92, Бюл. № 17.

6. А. с. 1813629 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4918117/15; заявл. 11.03.91; опубл. 07.05.93, Бюл. № 17.
7. А. с. 1813630 СССР, МПК В 27 В 15/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4701247/15; заявл. 03.05.89; опубл. 15.05.94, Бюл. № 9.
8. Грубе А.Э., Санев В.И. Основы теории расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 384 с.
9. Калитеевский Р.Е. Классификация бревнопильного оборудования и направления его совершенствования // Деревообработ. пром-сть. 2002. № 1. С. 9–11.
10. Микитишин З.В. Эффективность производства в деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 127 с.
11. Пат. 2487013 Российская Федерация, МПК В 27 В 15/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф., Коряковская Н.В. № 2012106003/13; заявл. 20.02.2012; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19.
12. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.
13. Прокофьев Г.Ф. Определение параметров механизма привода пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 55–58. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Прокофьев Г.Ф. Направления совершенствования ленточнопильных станков // Лесн. журн. 1995. № 2-3. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
15. Прокофьев Г.Ф. Аэростатика вместо трения // Техника молодежи. 2011. № 6. С. 18–20.
16. Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: моногр. / под ред. Г.Ф. Прокофьева. Архангельск: АГТУ, 2009. 380 с.
17. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 152 с.
18. Шилько В.К. Совершенствование двушквивных механизмов резания деревообрабатывающих ленточнопильных станков: дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2005. 279 с.
19. Kondratyuk A.A., Shilko V.K., Rudnev V.D. Estimation of Band Mill Traction Performances // Proc. 8th Korea-Russ. Intern. Symposium on Sci. Technology, KORUS 2004, June 26 – July 03, 2004. Tomsk, 2005. Vol. 3. Pp. 24–27.
20. Porter A.W. Some Engineering Considerations of High Strain Bandsaws // Forest Products Journal. 1971. Vol. 21(4). Pp. 24–32.
21. Prokofjev G.F., Dundin N.I., Ivankin I.I. Development of Sawing Machines // 14e seminaire international sur l'usinage du bois. Paris, 1999. Pp. 187–191.

Поступила 01.09.17

UDC 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

Design Development of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides[□]

G.F. Prokof'ev, *Doctor of Engineering Sciences*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: g.prokofjev@narfu.ru

For citation: Prokof'ev G.F. Design Development of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 99–108. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

Band saws, which have found the wide application in sawmill due to the small width of cut, low surface roughness of saw-timbers and the possibility of sawing large diameter logs, have a number of drawbacks: low sawing accuracy at high cutting speeds, low durability of saws, large overall dimensions and metal capacity. Based on the developments and technical solutions, we present an experimental band saw with a saw, moving along curved guides, and their working surface is in the form of aerostatic bearings. The research has shown the undeniable advantages of the unit compared to traditional machines with saw blades: the sawing accuracy is greatly improved due to the reduction of the free length of the saw by a factor of 5-6 and balanced running and inertia of pulleys; durability of the saw increases 20 times and more; overall dimensions and metal consumption are reduced. The developed band saw with curvilinear aerostatic guides has the advantages, but we should continue its further improvement in two directions: improving the cutting unit to increase the rigidity and stability of the saw, and consequently, the sawing accuracy; modernization of the saw drive mechanism to improve the reliability of its operation. The paper presents some technical solutions for the band saw design with curvilinear aerostatic guides.

Keywords: band saw, curvilinear aerostatic guides, cutting unit, saw drive mechanism, linear electric motor, limiting roller.

REFERENCES

1. Prokofev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 818862, 1981.
2. Prokofev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 949924, 1983.
3. Prokofev G.F., Khoderyan B.A. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1230818, 1986.
4. Prokofev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1724458, 1992.
5. Prokofev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1731632, 1992.
6. Prokofev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1813629, 1993.
7. Prokofev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1813630, 1994.
8. Grube A.E., Saney V.I. *Osnovy teorii rascheta derevoobrabatyvayushchikh stankov, mashin i avtomaticheskikh liniy* [Fundamentals of the Calculating Theory of Woodworking Machines, Machines and Automatic Lines]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 384 p. (In Russ.)
9. Kaliteevskiy R.E. Klassifikatsiya brevnopil'nogo oborudovaniya i napravleniya ego sovershenstvovaniya [Classification of Sawmill Equipment and Directions of Its Improvement]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2002, no. 1, pp. 9–11.
10. Mikitishin Z.V. *Effektivnost' proizvodstva v derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Efficiency of Production in the Woodworking Industry]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 127 p. (In Russ.)
11. Prokofev G.F., Koryakovskaya N.V. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Patent RF, no. 2487013, 2013.
12. Prokofev G.F. *Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami* [Intensification of Woodsawing by Frame and Band Saws]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 240 p. (In Russ.)
13. Prokofev G.F. *Opredelenie parametrov mekhanizma privoda pily lentochnopil'nogo stanka s krivolineynymi aerostaticheskimi napravlyayushchimi* [Parameters Determination of the Saw Drive Mechanism of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1991, no. 4, pp. 55–58.

14. Prokof'ev G.F. Napravleniya sovershenstvovaniya lentochnopil'nykh stankov [Directions for Improving Band Saws]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1995, no. 2-3, pp. 95–100.
15. Prokof'ev G.F. Aerostatika vmesto treniya [Aerostatics Instead of Friction]. *Tekhnika molodezhi*, 2011, no. 6, pp. 18–20.
16. Prokof'ev G.F., Ivankin I.I. *Povyshenie effektivnosti pileniya drevesiny na lesopil'nykh ramakh i lentochno-pil'nykh stankakh*: monogr. [Improving the Efficiency of Woodsawing on Sawmills and Band Saws]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2009. 380 p. (In Russ.)
17. Feoktistov A.E. *Lentochnopil'nye stanki* [Band Saw Machines]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 152 p. (In Russ.)
18. Shil'ko V.K. *Sovershenstvovanie dvushkivnykh mekhanizmov rezaniya derevoobratyvyayushchikh lentochnopil'nykh stankov*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Development of Double Sheaved Cutting Mechanisms for Woodworking Band Saws: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Tomsk, 2005. 279 p.
19. Kondratyuk A.A., Shilko V.K., Rudnev V.D. Estimation of Band Mill Traction Performances. *Proc. 8th Korea-Russ. Intern. Symposium on Sci. Technology, KORUS 2004, June 26 – July 03, 2004*. Tomsk, 2005, vol. 3, pp. 24–27.
20. Porter A.W. Some Engineering Considerations of High Strain Bandsaws. *Forest Products Journal*, 1971, vol. 21(4), pp. 24–32.
21. Prokof'ev G.F., Dundin N.I., Ivankin I.I. Development of Sawing Machines. *14e seminaire international sur l'usinage du bois*. Paris, 1999, pp. 187–191.

Received on September 01, 2017