

УДК 621.933.2

## ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЛЕСОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

© 2011 Г.Ф. Прокофьев, М.В. Дербин, А.М. Тюрин

Северный (Арктический) федеральный университет

Поступила в редакцию 09.11.2011

Пиление древесины на лесопильных станках производится рамными, ленточными и круглыми пилами, представляющими собой тонкие стальные полосы, ленты и диски. Они имеют малую жесткость и устойчивость, что не обеспечивает требуемую точность пиления при высокой производительности. Применение аэростатических направляющих для пил является эффективным средством повышения жесткости и устойчивости пил. Такие направляющие могут быть использованы при модернизации существующих станков и создании станков нового типа.

Ключевые слова: *газовая смазка, аэростатические опоры, дереворежущие пилы, лесопильные станки, жесткость и устойчивость пил*

За последние десятилетия большое применение нашла газовая смазка в атомной энергетике, радиотехнике, точном машиностроении, лазерной технике, космических аппаратах, медицинском оборудовании, транспортных машинах и т.д. Опоры скольжения с газовой смазкой в зависимости от способа создания избыточного давления внутри смазочного слоя подразделяются на газодинамические (если в качестве газа используется воздух – аэродинамические) и газостатические (аэростатические). В первом случае газ поступает в рабочий зазор из окружающей опору среды, увлекаемый силами газодинамического трения и микронеровностями поверхностей трения. Для таких опор не требуется источник сжатого газа, что является главным их достоинством. В газостатических опорах между подвижной и неподвижной поверхностями нагнетается поступающий от компрессора сжатый газ. Газостатические опоры можно применять не только при больших, но и при малых скоростях перемещения, вплоть до нуля; они допускают реверсивное движение; хорошо работают как при постоянных, так и при переменных нагрузках; могут работать при меньшей точности изготовления опор, чем газодинамические.

В качестве смазки в газостатических опорах может быть использован любой газ. Наиболее часто в качестве смазки используется воздух. Такая смазка в обычных условиях

наиболее практична и эффективна. Газостатические опоры, в которых в качестве смазочного материала используется воздух, называются, как отмечалось ранее, аэростатическими опорами. Области применения опор с газовой смазкой определяются свойствами газов. Важной характеристикой смазочного вещества является его вязкость. Сила трения прямо пропорциональна вязкости смазки и скорости движения подвижной поверхности относительно неподвижной. Вязкость воздуха примерно в 4000 раз меньше вязкости индустриального масла [1], поэтому аэростатические подшипники скольжения могут быть использованы при очень высоких и очень низких скоростях движения, при которых подшипники с пластичной и жидкостной смазкой неработоспособны. При использовании воздушной смазки в опорах скольжения подвижная и неподвижная поверхности разделены тонким слоем сжатого воздуха, поэтому отсутствует износ деталей, обеспечивается высокая точность движения и уменьшается уровень шума. Воздух истекает в окружающую среду под давлением, что исключает попадание пыли и грязи на поверхности опор извне и не требуется уплотнений в подшипниковых узлах. Воздух негорюч, поэтому аэростатические опоры могут успешно применяться в пожароопасных и взрывоопасных местах. Воздух может быть экологически чистым и стерильным, поэтому аэростатические опоры могут быть использованы в пищевой промышленности и медицинской технике. Воздух (как и другие газы) обладает физической стабильностью (вязкость незначительно изменяется от температуры и давления) и химической стабильностью (стойкостью

*Прокофьев Геннадий Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования. E-mail: g.prokofiev@narfu.ru*  
*Дербин Михаил Васильевич, аспирант. E-mail: m.v.derbin@mail.ru*  
*Тюрин Алексей Михайлович, аспирант. E-mail: alexejtyrin@rambler.ru.*

к окислению), поэтому аэростатические опоры могут эффективно работать как при низких так и при высоких температурах.

Аэростатические опоры имеют и недостатки. Воздух сжимаем (имеет малую жесткость), что снижает несущую способность аэростатических опор. Воздушная смазка не обладает граничными свойствами, присущими жидкостной смазке. При прекращении подачи

воздуха в зазор между подвижной и неподвижной поверхностями происходит непосредственный контакт этих поверхностей и аварийный выход опоры из строя. Поэтому материалы аэростатических опор должны изготавливаться из антифрикционных материалов, позволяющих максимально снизить трение без смазки в период аварийной остановки машины.

**Таблица.** Принципиальные схемы узлов резания лесопильных станков с аэростатическими направляющими для пил

Тип станка	Уровень совершенствования		
	действующие станки	модернизированные станки	станки новой конструкции
Лесопильные рамы	1.1 	1.2 	1.3 
Ленточнопильные станки	2.1 	2.2 	2.3 
Круглопильные станки	3.1 	3.2 	3.3 

В Северном (Арктическом) федеральном университете на кафедре прикладной механики и основ конструирования под руководством проф. Г.Ф. Прокофьева инициативно в рамках аспирантских работ ведутся работы по использованию аэростатических опор в различных областях техники, в частности в лесопилении. Конструкция плоских аэростатических опор, теоретические и экспериментальные исследования, примеры их использования приведены в работе [2]. Пиление древесины на лесопильных станках производится рамными, ленточными и круглыми пилами, представляющими собой тонкие стальные полосы, ленты и диски, на одной из кромок которой выполнены зубья. Они имеют малую жесткость и устойчивость, что не позволяет обеспечивать высокую точность пиления древесины при больших скоростях подачи. Идти на увеличение толщин рамных и круглых пил нецелесообразно, так как увеличивается расход древесины в опилки и энергозатраты, а у ленточных пил, кроме этого, возрастают напряжения изгиба пилы на шкивах, и снижается долговечность пил, которая и так является недостаточной. Увеличение натяжения рамных и ленточных пил также снижает долговечность пил.

Одним из эффективных направлений повышения жесткости и устойчивости пил является уменьшение их свободных длин в плоскостях наименьшей и наибольшей жесткости. Это может быть достигнуто при использовании для пил направляющих, расположенных над и под распиливаемым материалом, с рабочими поверхностями, выполненными в виде аэростатических опор. Применение аэростатических направляющих для пил может быть использовано при модернизации существующих лесопильных станков и создания станков нового типа. Принципиальные схемы узлов резания существующих конструкций лесопильных станков, модернизированных и нового типа приведены в таблице. На схемах 1.1, 2.1 и 3.1 показаны узлы резания лесопильных станков, широко применяемые в отечественной промышленности. Пилы имеют большие свободные длины, низкую жесткость и устойчивость, а следовательно малую точность пиления. При установке над и под распиливаемым материалом аэростатических направляющих для пил (схемы 1.2, 2.2 и 3.2) свободные длины пил в плоскости их наименьшей жесткости уменьшаются в несколько раз, повышается жесткость пил, а следовательно, точность пиления. Это является эффективным направлением модернизации действующих в промышленности лесопильных станков.

У лесопильных рам традиционной конструкции (табл., схема 1.1) свободная длина пил  $l$  в боковом направлении равна расстоянию между верхними и нижними межпилными прокладками, обеспечивающими позиционирование пил на определенном расстоянии друг от друга в соответствии с толщинами выпиливаемых пиломатериалов. Межпилные прокладки вместе с пилами совершают возвратно-поступательное движение. Свободная длина пил в этом случае

$$l = h_{max} + H,$$

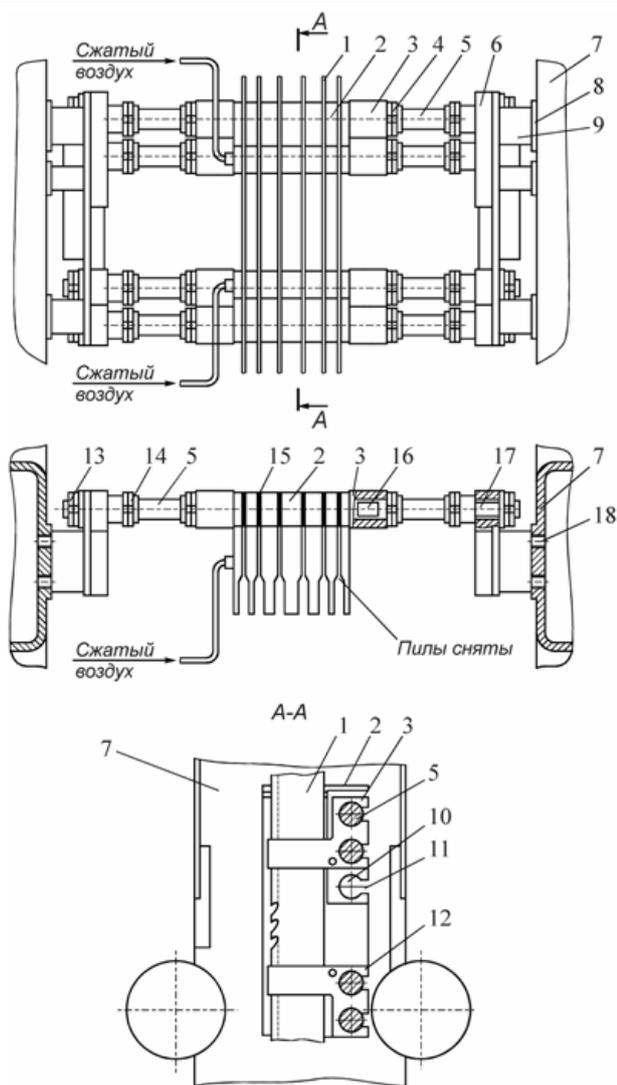
где  $h_{max}$  – максимальная высота распиливаемого материала, мм;  $H$  – ход пил с пильной рамкой, мм.

При установке над и под распиливаемым материалом направляющих для пил и жесткого закрепления их на станине (табл., схема 1.2) свободная длина пил  $l$  уменьшается на величину хода пил  $H$  и равна максимальной высоте пропила  $h_{max}$ . Так, если распиливается брус высотой  $h=200$  мм на лесопильной раме с ходом  $H=600$  мм, то при использовании направляющих для пил свободная длина  $l$  уменьшается в 4 раза.

Для снижения трения пил о направляющие их рабочие поверхности целесообразно выполнить в виде аэростатических опор. Это является эффективным направлением модернизации действующих лесопильных рам. Конструкция узла резания модернизированной лесопильной рамы приведена на рис. 1.

При использовании направляющих для пил у действующих лесопильных рам жесткость пил может быть повышена в 3-5 раз (в зависимости от высоты пропила) [3]. В то же время устойчивость пил, характеризующая критической силой  $P_{кр}$ , увеличивается лишь на 30-50% [3], так как устойчивость в большей степени зависит от свободной длины пилы  $L$  в плоскости её наибольшей жесткости, равной расстоянию между осями захватов, которая при модернизации лесопильных рам путем установки направляющих не изменяется.

Исследованиями установлено, что при уменьшении  $l$  до 200 мм за счет установки направляющих для пил и  $L$  до 500 мм (за счет уменьшения хода пил) возможно качественное пиление брусков высотой до 200 мм нерастянутыми рамными пилами, при этом жесткость и устойчивость пил находятся на уровне показателей растянутых пил двухэтажных лесопильных рам. Схема рамной пилы с уменьшенными свободными длинами  $l$  и  $L$  приведена в табл. (схема 1.3). Это направление позволяет создать лесопильную раму нового типа.



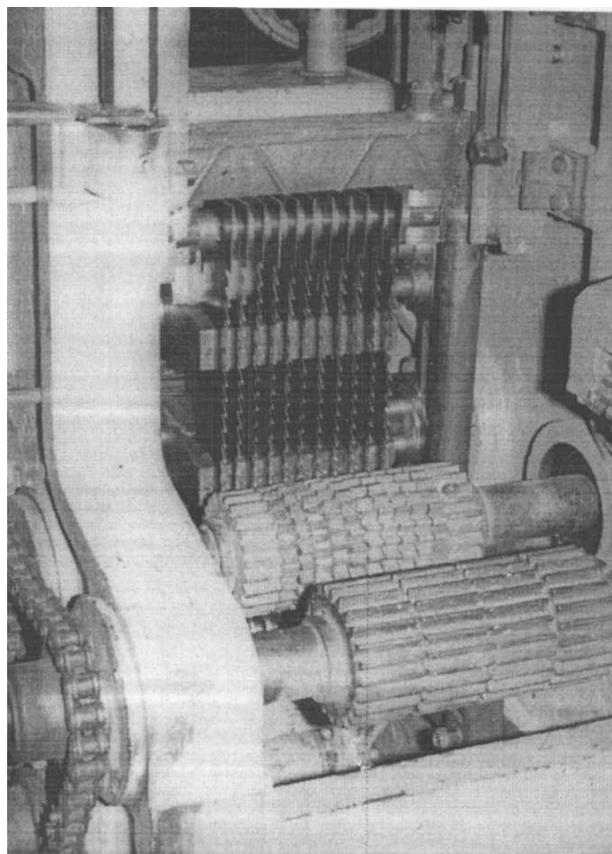
**Рис. 1.** Конструкция блока направляющих для пил лесопильных рам:

1 – пилы; 2, 12 – соответственно промежуточные и крайние направляющие элементы; 3 – втулки; 4, 13, 14 – гайки; 5 – стержни; 6 – кронштейны; 7 – станина лесопильной рамы; 8 – приливы; 9 – базовые выступы кронштейнов; 10 – отверстия; 11 – прорези; 15 – прокладка; 16, 17 – лыски; 18 – крепеж

На базе тарной лесопильной рамы РТ-36 создана экспериментальная лесопильная рама с нерастянутыми «плавающими» пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в аэростатических направляющих. Общий вид узла резания экспериментальной лесопильной рамы показан на рис. 2. Наши исследования показали следующие преимущества лесопильной рамы нового типа по сравнению с лесопильными рамами традиционной конструкции того же назначения:

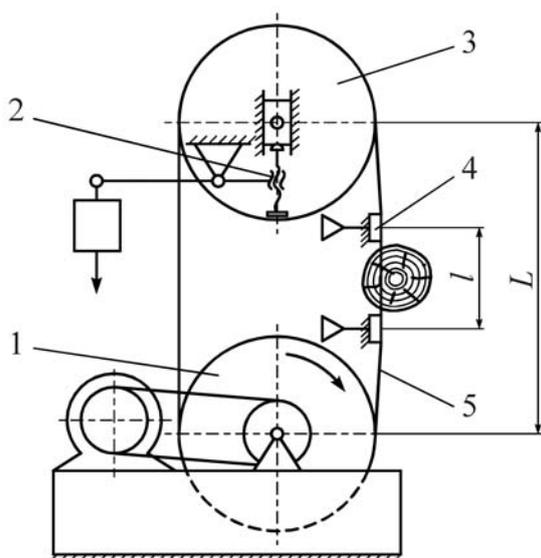
1) габаритные размеры и металлоёмкость лесопильной рамы новой конструкции уменьшаются в 2-3 раза;

- 2) энергозатраты станка снижаются на 15-20%;
- 3) расход древесины в опилки снижается на 30-40%;
- 4) обеспечивается получение пиломатериалов высокого качества.



**Рис. 2.** Общий вид узла резания экспериментальной лесопильной рамы с нерастянутыми пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в аэростатических направляющих

Повысить жесткость и устойчивость ленточных пил можно за счет уменьшения свободной длины в плоскости наименьшей  $l$  и наибольшей  $L$  жесткости. Этого можно достигнуть за счет применения направляющих, установленных над и под распиливаемым материалом (табл. схема 2.2). Более эффективны односторонние направляющие. Они уменьшают свободную длину пилы в плоскости наименьшей жесткости и за счет этого увеличивают её жесткость и устойчивость, повышают точность движения пилы в зоне резания, устраняют колебания пилы. Такой тип направляющих находит все большее применение в ленточнопильных станках. Значительно снизить трение пилы о направляющие можно, если их рабочие поверхности выполнить в виде аэростатических опор (рис. 3).

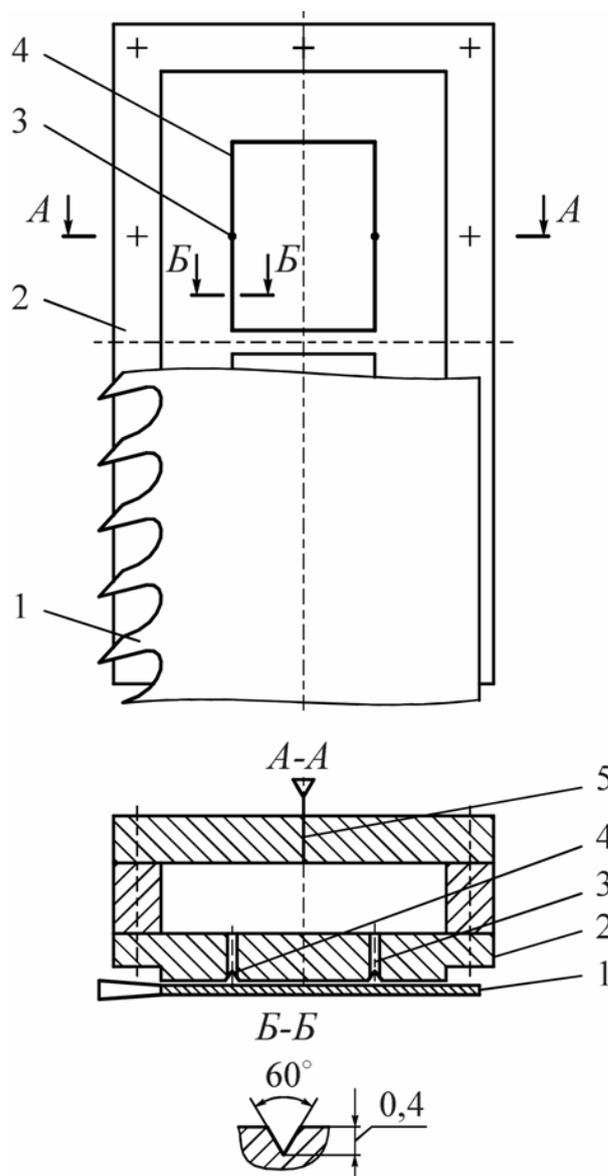


**Рис. 3.** Конструкция ленточнопильного станка с отжимными аэроэстатическими направляющими: 1, 6 – соответственно ведомый и ведущий пильные шкивы; 2 – отжимные аэроэстатические направляющие; 3 – ленточная пила; 4 – основание станка; 5 – привод ведущего пильного шкива; 7 – механизм натяжения пилы

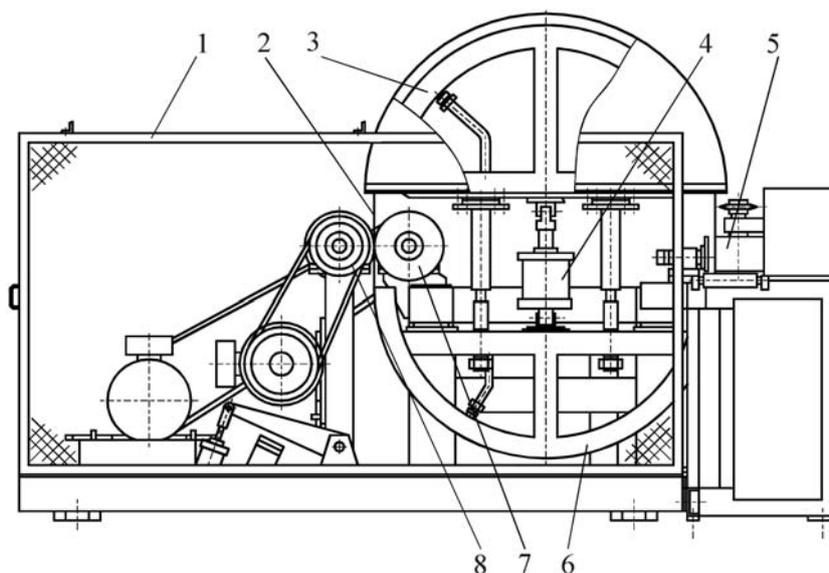
Достоинства отжимных аэроэстатических направляющих состоят в том, что они максимально снижают трение пилы о направляющие, происходит охлаждение пилы воздухом, отсутствует износ направляющих и не требуется использовать дорогие теплостойкие и износостойкие материалы. Общий вид отжимной аэроэстатической направляющей показан на рис. 4. По воздухопроводу 5 от компрессора поступает сжатый воздух в полость корпуса 2, а затем, проходя через отверстия поддува 3, распределяется по микроканавкам 4 и выходит в атмосферу. Образующийся слой сжатого воздуха между рабочей поверхностью направляющей и ленточной пилой 1 служит газовой смазкой и уменьшает трение между пилой и направляющей.

В работе [4] показано, что применение отжимных направляющих вместо щелевых двухсторонних, широко применяемых в настоящее время, позволяет повысить жесткость пилы более, чем в 2 раза. Устойчивость пилы, характеризуемая величиной критической силы  $P_{кр}$ , увеличивается при использовании отжимных направляющих лишь на 30-40%, так как на устойчивость оказывает большое влияние не свободная длина пил в плоскости наименьшей жесткости  $l$ , а свободная длина пил в плоскости наибольшей жесткости  $L$ , которая при установке отжимных направляющих не изменяется. Для дальнейшего повышения устойчивости пилы необходимо уменьшить свободную длину пилы в плоскости наибольшей жесткости  $L$ . Это может быть достигнуто при использовании

ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим (табл. схема 2.3). У станка такого типа свободная длина пилы  $L$  уменьшается в 4-6 раз и значительно повышается устойчивость пилы. Конструкция ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим, предложена, научно обоснована и технически проработана проф. Г.Ф. Прокофьевым и приведена на рис. 5. Испытания созданного опытного образца (рис. 6) ленточнопильного станка с криволинейными аэроэстатическими направляющими [4] подтвердили перспективность выбранного направления совершенствования ленточнопильных станков.

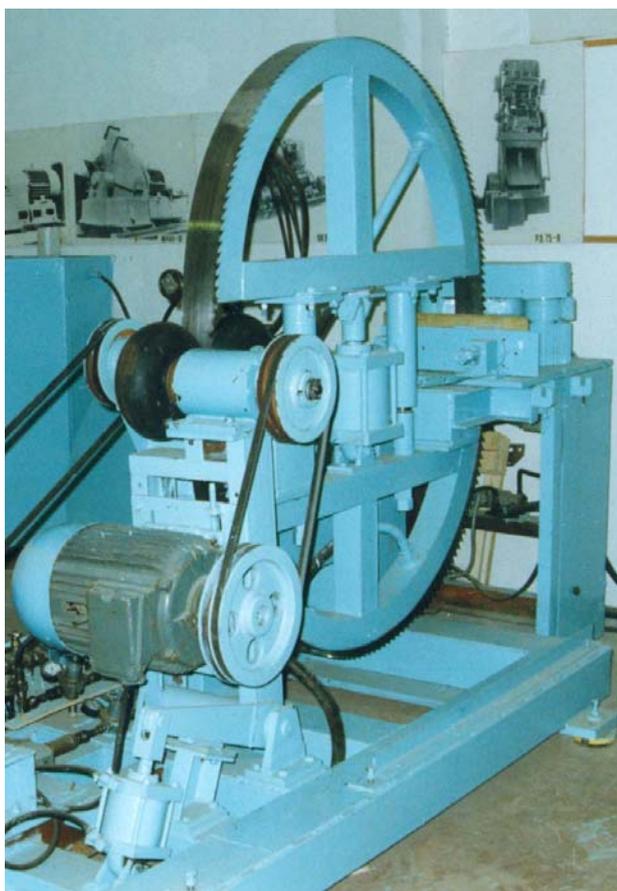


**Рис. 4.** Конструкция отжимной аэроэстатической направляющей ленточнопильного станка: 1 – пила; 2 – корпус; 3 – отверстие поддува; 4 – распределительная канавка; 5 – воздухоподводящая магистраль



**Рис. 5.** Ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим:

1 – ограждение; 2 – пила; 3, 6 – верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 4 – механизм натяжения пилы; 5 – механизм подачи; 7, 8 – приводные фрикционные колеса



**Рис. 6.** Ленточнопильный станок ЛСД 150 с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим

Достоинства ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими следующие:

- 1) при замене круглопильных станков и лесопильных рам традиционной конструкции ленточнопильными станками нового типа расход древесины в опилки может быть уменьшен в 2-4 раза;
- 2) отсутствие пильных шкивов у ленточнопильного станка новой конструкции устраняет основной источник шума;
- 3) исследования показали и испытания подтвердили, что долговечность пил повышается более чем в 20 раз. Это позволяет оснастить зубья тверды сплавом и уменьшить расход пил в 10-15 раз. При этом улучшается качество получаемых пиломатериалов, и уменьшаются трудозатраты на подготовку и эксплуатацию пил;
- 4) габаритные размеры и металлоемкость ленточнопильного станка новой конструкции снижаются в 1,5-2 раза по сравнению с аналогичным станком с пильными шкивами;
- 5) энергозатраты на работу станка снижаются на 10-15%;
- 6) расход древесины в опилки снижается на 10-15%.

Оригинальность технических решений, использованных при разработке конструкций новых лесопильных станков, не имеющих зарубежных аналогов, подтверждают 12 авторских свидетельств и патентов. В настоящее время авторами ведутся следующие работы:

- исследования охлаждающей способности аэростатических направляющих;
- оптимизация конструкций аэростатических направляющих;

- совершенствование конструкций узлов резания лесопильных станков;
- создание новых лесопильных модулей для гибких автоматизированных лесопильных линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шейнберг, С.А. Опоры скольжения с газовой смазкой / С.А. Шейнберг и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. 396 с.
2. Прокофьев, Г.Ф. Новые направления использования аэростатических опор: монография / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009. 103 с.
3. Прокофьев, Г.Ф. Повышение качества пиления древесины на лесопильных рамах: монография / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, В.А. Казанцев. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. 192 с.
4. Прокофьев, Г.Ф. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: монография / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009. – 380 с.

**APPLICATION OF AEROSTATIC LEGS AT PERFECTING  
THE SAWING MACHINE TOOLS**

© 2011 G.F. Prokofyev, M.V. Derbin, A.M. Tyurin

Northern (Arctic) Federal University

Wood sawing on sawing machine tools is made by frame, tape and round saws representing thin steel strips, ribbons and disks. They have small rigidity and stability that does not ensure demanded exactitude of sawing at high efficiency. Application the aerostatic directing for saws is an effective remedy of heightening the rigidity and stability of saws. Such directing can be used at modernizing the existing machine tools and creation the machine tools of new type.

Key words: *gas greasing, aerostatic legs, wood-cutting saws, sawing machine tools, rigidity and stability of saws*

*Gennadiy Prokofyev, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Applied Mechanics and Designing Bases. E-mail: g.prokofiev@narfu.ru*

*Mikhail Derbin, Post-graduate Student. E-mail: m.v.derbin@mail.ru*

*Aleksey Tyurin, Post-graduate Student. E-mail: alexejtyurin@rambler.ru.*