

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 674.053:621.935

Исследование охлаждающей способности аэростатических опор

М.В. Дербин^а, В.М. Дербин^б

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины 17, Архангельск, Россия
^аm.v.derbin@mail.ru, ^бv.derbin@mail.ru

Статья получена 25.06.2015, принята 6.08.2015

Одними из основных факторов, влияющих на точность технических параметров получаемых пиломатериалов, являются жесткость и устойчивость пил. В процессе пиления дереворежущий инструмент нагревается. Это явление может вызвать потерю жесткости и устойчивости пил. У лесопильных рам и ленточнопильных станков отрицательное влияние нагрева можно компенсировать дополнительным натяжением и установкой направляющих. В процессе пиления древесины особое значение имеет нагрев круглых пил из-за появления температурного перепада по радиусу. При достижении температурного перепада по радиусу диска критической величины возможна потеря устойчивости упругого равновесия, и пиление станет невозможным. Одним из способов повышения термоустойчивости круглых пил является создание начальных напряжений различными методами, которые, однако, полностью не решают существующую проблему. Также можно снизить влияние температурного перепада на устойчивость пил увеличением их толщины, что повышает энергозатраты на пиление и объем получаемых опилок. Существуют различные способы подачи воды на периферийную часть пилы, но все они имеют существенные недостатки, которые затрудняют их использование. В связи с этим предложено использовать для охлаждения круглых пил аэростатические направляющие. За счет резкого охлаждения воздуха около пилы можно добиться снижения температурного перепада. В металлургии широко используются различные струйные системы для охлаждения и нагрева металла. Существующие исследования в металлургии не могут быть применены к аэростатическим направляющим из-за существенных различий в их конструкции и параметрах. В работе предлагается методика выполнения исследований охлаждающей способности аэростатических опор.

Ключевые слова: нагрев; температурный перепад; круглая пила; струйные течения; охлаждение; аэростатическая опора.

Research of cooling ability of aerostatic supports

M.V. Derbin^а, V.M. Derbin^б

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; 17, Severnaya Dvina emb., Arkhangelsk, Russia
^аm.v.derbin@mail.ru, ^бv.derbin@mail.ru

Received 25.06.2015, accepted 6.08.2015

One of the main factors, influencing the accuracy of the technical parameters of the sawn timber, is the rigidity and stability of saws. When sawing, woodcutting tool is being heated. This phenomenon can cause a loss of rigidity and stability of saws. On log frames and band saws negative heating influence can be compensated by additional tension and by setting the guides. Heating of circular saws is of particular importance due to the appearance of a temperature gradient along the radius when sawing. When reaching the temperature gradient along the radius of the disk the critical value, it may lose stability of elastic equilibrium and sawing will be impossible. One way to increase the thermal stability of circular saws is to create the initial tension by various methods, which do not solve the problem fully. Reduction of the influence of temperature gradient on the stability of saws by increasing their thickness is also a decision, which increases power inputs on sawing and the volume of filings. There are various ways of supply water to peripheral portion of the saw, but they have some significant disadvantages which complicate their use. Thus, it has been proposed to use aerostatic guides to cool circular saws. Due to a dramatic expansion of air around the saw, a reduction of temperatures gradient can be achieved. Various jet systems for metal cooling and heating are widely used in metallurgy. Existing research in metallurgy cannot be applied to the aerostatic guides because of significant differences in their design and parameters. The article proposes a research method for cooling ability of aerostatic supports.

Key words: heating; temperature gradient; circular saw; jet flows; cooling; aerostatic support.

Введение. При пилении древесины дереворежущими пилами происходит их нагрев. У рамных и ленточных пил отрицательное влияние на жесткость и устойчивость можно компенсировать дополнительным на-

тяжением [1]. Особое значение имеет нагрев в процессе пиления древесины круглыми пилами. При увеличении температурного перепада ΔT по радиусу диска круглой пилы происходит снижение ее жесткости и устой-

чивости, а, следовательно, и точности пиления. При достижении температурного перепада по радиусу диска критической величины $\Delta T_{кр}$ круглая пила может потерять устойчивость упругого равновесия, и пиление станет невозможным.

Для повышения термоустойчивости круглых пил в дисках создают начальные напряжения, благоприятно распределенные по радиусу одним из следующих способов: термопластической обработкой, вальцеванием, проковкой, автофретированием. Это повышает работоспособность круглых пил, но не решает проблему полностью. При создании в диске напряжений выше нормативных значений пила может потерять устойчивость плоской формы равновесия, и произойдет ее выпучивание. Увеличение толщины пилы повышает ее термоустойчивость, но при этом возрастают расход древесины в опилки и энергозатраты на резание.

Эффективным путем снижения температурного перепада ΔT является охлаждение периферийной зоны пилы. На практике это осуществляется путем подачи на периферийную зону пилы струи воды. Охлаждение пил водой эффективно снижает температурный перепад по радиусу диска круглой пилы, но имеет ряд недостатков:

- коррозия деталей;
- затрудненность сжигания сырых опилок при использовании их в качестве топлива;
- сложность транспортировки сырых опилок в зимний период.

Постановка и решение задачи. Многими исследователями (А.Э. Грубе, В.И. Санев, В.К. Пашков, Ю.М. Стахийев и др.) проводились работы по снижению расхода воды за счет применения для охлаждения круглых пил водо-воздушной смеси, но результаты свидетельствуют о том, что добиться значительного снижения расхода воды не удалось. В работах Г.Ф. Прокофьева [2] высказывается мысль, что аэростатические направляющие для пил могут быть использованы и для охлаждения пил, но исследований охлаждающей способности аэростатических направляющих не проводилось.

В металлургии нашли широкое применение струйные системы для охлаждения и нагрева в печах пластин, труб, тарелок и других металлических деталей. Экспериментальным исследованиям закономерности теплообмена в струйных системах посвящены работы многих ученых [3–17]. При исследованиях авторами выбирались параметры систем струй с учетом их применения в таких промышленных теплообменных процессах, как, например, охлаждение газотурбинных лопастей и электрооборудования, сушка бумаги и текстиля, отжиг металлов. На основании изучения этих работ можно лишь качественно определить характер влияния струй на охлаждение обдуваемого ими объекта. Параметры аэростатических опор, которые используются в конструкци-

ях направляющих для дереворежущих пил, отличаются от применяемых в металлургии струйных систем конструкцией ограничителей расхода воздуха, диаметрами отверстий сопел, давлением подводимого воздуха, расстоянием от опоры до поднимаемого или обдуваемого объекта, скоростью истечения воздуха и т. д.

Экспериментальные исследования охлаждающей способности аэростатических опор были проведены в лаборатории газовой смазки, на установке, состоящей из пневмосистемы, трансформатора для контактной сварки и стенда.

Общий вид стенда для исследования аэростатических опор показан на рис. 1, пневматическая схема экспериментальной установки и схема стенда — на рис. 2 и 3.



Рис. 1. Общий вид стенда для исследований плоских аэростатических опор

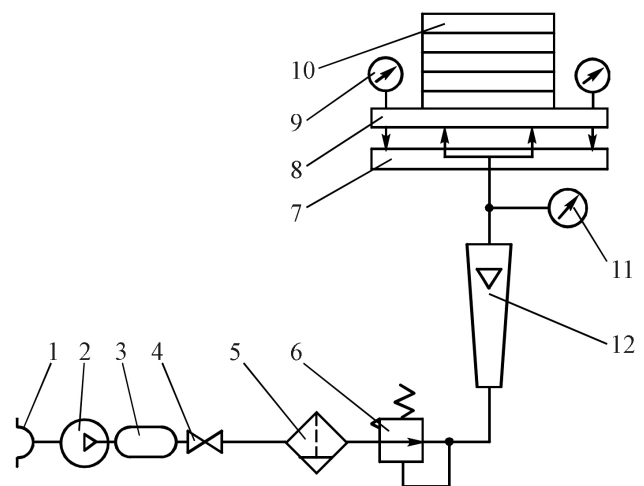


Рис. 2. Схема пневматической системы экспериментальной установки для исследования плоских аэростатических опор: 1 — заборник воздуха; 2 — компрессор; 3 — ресивер; 4 — клапан запорный проходной; 5 — фильтр-влагодетель; 6 — игольчатый пневмоклапан; 7 — опора; 8 — подъемная плита; 9 — индикаторы часового типа 1МИГ; 10 — груз; 11 — манометр; 12 — ротаметр

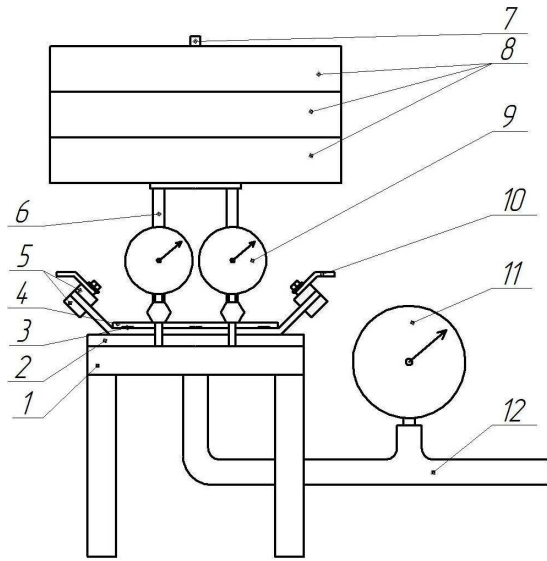


Рис. 3. Схема стенда для исследования плоских аэростатических опор: 1 — основание стенда; 2 — аэростатическая опора; 3 — подъемная плита с термометрами сопротивления; 4 — изоляционная пластина; 5 — зажимы; 6 — жесткая рамка; 7 — направляющий стержень; 8 — груз; 9 — индикатор часового типа 1МИГ; 10 — клемма силового кабеля трансформатора; 11 — манометр; 12 — рукав

Для проведения измерений были выбраны термометры сопротивления ТСП 9703-03, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики термометров сопротивления ТСП 9703-03

Параметр	Значение
Диапазон измеряемых температур, °С	-60...+200
Номинальная статическая характеристика	100П
Класс допуска	В
Время термической реакции, с	1
Степень защиты от пыли и воды	IP00
Номинальное значение b , °С ⁻¹ ; (W100)	0,00391; (1,3910)
Диапазон условных давлений, МПа	-
Устойчивость к вибрации	группа исп. L3
Вид климатического исполнения	У3

Термометры сопротивления были соединены и подключены к АЦП ЦАП ZET 210 по предложенной заводом-изготовителем схеме. Для внесения поправок в программу «Термометр сопротивления» перед проведением измерений была произведена калибровка программы совместно с термопреобразователями при температуре 0 °С (в водоледающей смеси) и при температуре 100 °С (в кипящей воде без примесей, при нормальном давлении). Результаты были сохранены в программе для каждого датчика.

На рис. 4 приведен фрагмент процесса отображения значений температуры и осциллограмма на ПК.

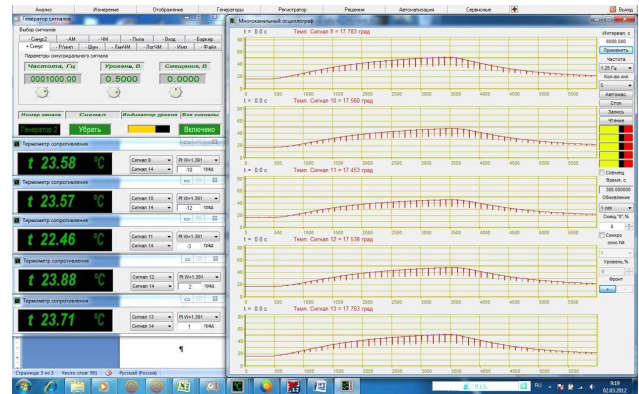


Рис. 4. Фрагмент процесса отображения данных на ПК

Результаты эксперимента. После проведения каждого наблюдения результаты замеров сохранялись в программе «Многоканальный осциллограф». Считывание данных замеров в процессе обработки экспериментальных данных производилось с помощью программы «Просмотр результатов».

Эффективность охлаждения подъемной плиты, установленной на аэростатической опоре, можно характеризовать скоростью изменения температуры. Некоторые факторы не меняются в ходе эксперимента, поэтому приняты постоянными.

Постоянные факторы:

- угол профиля распределительной микроканавки — $\varphi = 60^\circ$;
- число отверстий поддува — $z = 2$;
- диаметр отверстий поддува — $d = 0,6$ мм;
- избыточное давление подводимого сжатого воздуха — $p_u = 0,4$ МПа;
- вес груза — $Q = 427$ Н;
- размер уплотнительной канавки: $b_1 \times l_1 = 60 \times 110$ мм;
- схема рабочей поверхности аэростатической опоры приведена на рис. 3.

Переменные факторы:

- глубина распределительной канавки t , мм;
- глубина уплотнительной канавки t_1 , мм;
- размеры распределительной канавки $b \times l$: 60×110 мм, 40×90 мм, 30×80 мм;
- наличие и отсутствие уплотнительной канавки;
- размер аэростатической опоры: $B \times L = 100 \times 150$ мм и $B \times L = 80 \times 130$ мм.

В ходе экспериментов было установлено, что кривую охлаждения можно описать с помощью гиперболической зависимости изменения температуры от времени охлаждения:

$$T = \frac{a}{t+b} + c,$$

где a — величина, характеризующая интенсивность охлаждения, °С·с; b — величина, характеризующая смещение оси ординат, с; c — величина, характеризующая смещение оси ординат, °С; t — время охлаждения, с.

Коэффициент a принят в качестве оценочного показателя. Возрастание его значения означает уменьшение скорости охлаждения.

Для анализа скорости охлаждения регистрировались значения с термометра сопротивления, установленного в центре подъемной плиты. Равномерность охлаждения подъемной плиты в рассматриваемых вариантах позволяли оценить датчики, установленные в периферийной зоне плиты (в углах). Это важно, так как существенное влияние на устойчивость и жесткость полотна пил оказывает неравномерность распределения температуры по их поверхности.

Опыты состояли из двух серий. Изучалось влияние конфигурации распределительной и уплотнительной канавок на эффективность охлаждающей способности опоры. Опыты проводились на опорах, выполненных с параметрами, приведенными в табл. 2. В процессе обработки результатов экспериментальные данные заносились в таблицу для дальнейшей обработки. Также с помощью математического пакета MathCad вычислялась величина a . Для сравнения скорости охлаждения в различных условиях перед проведением опытов на аэростатической опоре была произведена оценка охлаждения подъемной плиты в естественных условиях. Величина a характеризует интенсивность охлаждения подъемной плиты. С уменьшением величины a интенсивность охлаждения возрастает. Эта величина взята

как один из оценочных показателей интенсивности охлаждения подъемной плиты.

В качестве второго оценочного показателя было принято время Δt снижения температуры подъемной плиты от 50°C до 30°C.

Методическая сетка опытов приведена в табл. 2.

Число наблюдений в каждом опыте определялось по формуле. Принято число наблюдений $n=4$. Для выполнения работ по всей методической сетке необходимо провести 136 наблюдений.

Результаты опытов подвергались обработке методами математической статистики. На персональном компьютере с помощью табличного редактора Microsoft Excel для каждого из них после проведения опытов рассчитывались следующие статистические характеристики: выборочное среднее; показатель точности; коэффициент вариации; среднее квадратическое отклонение; ошибка выборочного среднего.

Выводы

Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что при использовании аэростатических опор более интенсивное охлаждение происходит на периферийной части пилы. Поскольку при пилении более сильному нагреву подвергается также периферийная часть пилы (в месте расположения зубьев), то в целом по поверхности полотна пилы температурный перепад снижается, и повышается его устойчивость.

Таблица 2

Методическая сетка опытов

Наименование факторов	Обозначение	Ед. изм.	Числовые значения факторов			
			1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
Диаметр отверстий поддува	d	мм	0,6			
Число отверстий	z	шт.	2			
Избыточное давление подводимого воздуха		МПа	0,4			
Вес груза	Q	Н	427			
Тип уплотнительной канавки	–	–	«Г»			
Размеры аэростатической опоры	$L \times B$	мм	150×100 ; 130×80			
Размеры уплотнительной канавки	$l_1 \times b_1$					
Размеры распределительной канавки	$l \times b$				80×30	
Глубина уплотнительной канавки	t_1		0,5;	0,5;		
Глубина распределительной канавки	t				0,4;	0,4; 0,8;
Угол профиля распределительной микроканавки	Φ	град	60			
Оценочные показатели						
Величина a		°С·с				
Время снижения температуры подъемной плиты от 50°C до 30°C	Δt	с	–	–	–	–

Литература

1. Иванкин И.И. Определение основных эксплуатационных показателей делительного ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими: дис... канд. техн. наук. Архангельск, 2001. 146 с.

2. Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: моногр. Архангельск: АГТУ, 2009. 380 с.

3. Белов И.А., Горшков Г.Ф., Комаров В.С., Терпигорьев В.С. Экспериментальное исследование газодинамических

параметров при струйном обтекании преграды // Изв. АН СССР. Мех. жидкости и газа. 1971. № 2. С. 139-142.

4. Дыбан Е.П., Мазур А.И. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел. Киев: Наук. думка. 1982. 303 с.

5. Жилкин Б.П., Гулаков А.А., Бродов Ю.М. Интенсификация теплоотдачи в импактных струях путем изменения формы поперечного сечения сопла // Теплообмен ММФ-2000. Минск, 2000. Т. 1. С. 329-336.

6. Костомаров, В.М., Жилкин Б.П., Зыскин Б.И. Компьютерный анализ струйных течений // Вестн. Урал. гос. техн. ун-та: Сыромятниковские чтения. 1995. С. 65-70.

7. Хуанг Г. Исследование коэффициентов теплоотдачи для потоков воздуха в круглых струях, ударяющих нормально в теплообменную поверхность // Тр. Америк. о-ва инженеров-механиков. Теплопередача. 1963. Т. 85, № 3. С. 59-69.

8. Юдаев Б.П., Михайлов М.С., Савин В.К. Теплообмен при взаимодействии струй с преградами. М.: Машиностроение, 1977. 248 с.

9. Den Ouden C., Hoogendoorn C.J. Local convective heat transfer coefficient for jet impinging on a plate; experiments using a liquid technique. Proc. 5th Int. Heat Transfer Conf. Tokyo // Jap. Soc. Mech. Eng., 1974. Vol. 5. pap. MA 2. 5. P. 293-297.

10. Donaldson C., Snedeker R., Margolis A. A study of free jet impingement heat transfer. Pt 2. Free jet turbulent structure and impingement heat transfer // J. Fluid Mech. 1971. 45, № 3. P. 477-512.

11. Gardon R., Akfirat J. The role of turbulence in determining the heat transfer characteristics of impinging jets // Int. J. Heat and Mass Transfer., 1965. 8. N 10. P. 1261-1272.

12. Gardon R., Cobonpue J. Heat transfer between a flat plate and jets of air impinging on it. International development in heat transfer: Proc. Int. Heat Transfer Conference, New York: Amer. Soc. Mech. Eng., 1961. P. 454-460.

13. Hoogendoorn C.J. The effect of turbulence on heat transfer at a stagnation point // Int. J. Heat and Mass Transfer. 1977. Vol. 20, № 12. P. 1333-1338.

14. Nakatogava T., Nishiwaki N., Hirata M. Torii K- Heat transfer of round turbulent jet impinging normally of flat plate. Heat Transfer 1970-Proc // 4th Int. Heat Transfer Conf. Düsseldorf: Elsevier, 1970. Vol. 2, pap. FC 5. 2. P. 1-11.

15. Perry K. Heat transfer convection from heat jet to plate // Proc. Inst. Mech. Eng., 1954 Vol. 188, N 30. P. 775-784.

16. Schlünder E.U., Gnielinski V. Wärme- und Stoffübertragung zwischen gut und aufprallenden Düsenstrahl // Chem. Ing. Techn., 1967. Vol. 39. № 9/10. P. 578-584.

17. Vallis E.A., Patrick M.A., Wragg A.A. Radial distribution of convective heat transfer coefficient between an axisymmetric turbulent jet and a flat plate held normal to the flow // Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf. Toronto: Hemisphere publ. Co. 1978. Vol. 5, pap. FC (b)-21. P. 297-303.

References

1. Ivankin I.I. Determination of the main operational parameters the dividing band saw with curved aerostatic directing: dis... kand. tekhn. nauk. Arkhangel'sk, 2001. 146 p.

2. Prokof'ev G.F., Ivankin I.I. Improving the efficiency sawing wood in sawmills frames and band saws: monogr. Arkhangel'sk: AGTU, 2009. 380 p.

3. Belov I.A., Gorshkov G.F., Komarov V.S., Terpigor'ev V.S. Experimental study of gas-dynamic parameters in the jet flow around obstructions // Izv. AN SSSR. Mekh. zhidkosti i gaza. 1971. № 2. P. 139-142.

4. Dyban E.P., Mazur A.I. Convective heat transfer in jet flow around bodies. Kiev: Nauk. dumka. 1982. 303 p.

5. Zhilkin B.P., Gulakov A.A., Brodov Yu.M. Intensification of heat transfer in the impact jet by changing the shape of the cross section of the nozzle // Teplomassoobmen MМF-2000. Minsk, 2000. T.1. P. 329-336.

6. Kostomarov V.M., Zhilkin B.P., Zyskin B.I. Computer analysis of jet flows // Vestn. Ural. gos. tekhn. un-ta: Syromyatnikovskie chteniya. 1995. P. 65-70.

7. Khuang G. Investigation of heat transfer coefficients for air flow in the round jet impinging normal to the heat exchange surface // Tr. Amer. o-va inzhenerov-mekhanikov. Teploperedacha. 1963. Т. 85, № 3. P. 59-69.

8. Yudaev B.P., Mikhailov M.S., Savin V.K. Heat transfer in the interaction of jets with obstacles. M.: Mashinostroenie, 1977. 248 p.

9. Den Ouden C., Hoogendoorn C.J. Local convective heat transfer coefficient for jet impinging on a plate; experiments using a liquid technique. Proc. 5th Int. Heat Transfer Conf. Tokyo // Jap. Soc. Mech. Eng., 1974. Vol. 5. pap. MA 2. 5. P. 293-297.

10. Donaldson C., Snedeker R., Margolis A. A study of free jet impingement heat transfer. Pt. 2. Free jet turbulent structure and impingement heat transfer // J. Fluid Mech. 1971. 45, № 3. P. 477-512.

11. Gardon R., Akfirat J. The role of turbulence in determining the heat transfer characteristics of impinging jets // Int. J. Heat and Mass Transfer., 1965. 8. N 10. P. 1261-1272.

12. Gardon R., Cobonpue J. Heat transfer between a flat plate and jets of air impinging on it. International development in heat transfer: Proc. Int. Heat Transfer Conference, New York: Amer. Soc. Mech. Eng., 1961. P. 454-460.

13. Hoogendoorn C.J. The effect of turbulence on heat transfer at a stagnation point // Int. J. Heat and Mass Transfer. 1977. Vol. 20, № 12. P. 1333-1338.

14. Nakatogava T., Nishiwaki N., Hirata M. Torii K- Heat transfer of round turbulent jet impinging normally of flat plate. Heat Transfer 1970-Proc // 4th Int. Heat Transfer Conf. Düsseldorf: Elsevier, 1970. Vol. 2, pap. FC 5. 2. P. 1-11.

15. Perry K. Heat transfer convection from heat jet to plate // Proc. Inst. Mech. Eng., 1954 Vol. 188, N 30. P. 775-784.

16. Schlünder E.U., Gnielinski V. Wärme- und Stoffübertragung zwischen gut und aufprallenden Düsenstrahl // Chem. Ing. Techn., 1967. Vol. 39. № 9/10. P. 578-584.

17. Vallis E.A., Patrick M.A., Wragg A.A. Radial distribution of convective heat transfer coefficient between an axisymmetric turbulent jet and a flat plate held normal to the flow // Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf. Toronto: Hemisphere publ. Co. 1978. Vol. 5, pap. FC (b)-21. P. 297-303.