



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.933.2

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ
УПЛОТНИТЕЛЬНОЙ КАНАВКИ АЭРОСТАТИЧЕСКОЙ ОПОРЫ**

© *М.В. Дербин, канд. техн. наук, ст. преп.*

В.М. Дербин, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: m.v.derbin@mail.ru

Приведены ссылки на теоретические исследования аэростатических опор и методику их расчета для выбора параметров аэростатической направляющей. Расчет выполнен численным методом, основанным на аппроксимации поля давления в зазоре разностными алгебраическими уравнениями, учитывающим двухмерность потока смазки в опорах различной конфигурации и дающим результаты, близкие к реальным. По принятым допущениям, обеспечивающим упрощение расчетов, не учитываются отклонения линий потока от направления, перпендикулярного микроканавкам, при увеличении зазора и уменьшении сечения микроканавки; движение воздуха в канавках принимается ламинарным; не учитываются силы инерции в потоке смазки. Приведена схема аэростатической опоры с заданными параметрами, которыми являются ширина и длина. Секция опоры включает замкнутую прямоугольную микроканавку, на середине продольных сторон которой выполнены отверстия поддува. Обособленная аэростатическая опора разбита сеткой. Разработана программа расчета аэростатических опор с использованием специального математического пакета. При экспериментальных исследованиях для оценки влияния уплотнительных канавок на грузоподъемность аэростатических опор была взята аэростатическая опора с заданными параметрами. Приведены схема рабочей поверхности аэростатической опоры с уплотнительной канавкой и общий вид стенда для исследования аэростатических опор. Дано описание схемы пневматической системы экспериментальной установки, которая включает компрессор, воздухопроводящую магистраль, состоящую из резиновых напорных рукавов, фильтр-влагодетель для удаления из сжатого воздуха механических включений и влаги, игольчатый пневмоклапан для регулировки давления воздуха, встроенный в ротаметр, и газовый манометр. Для экспериментальных исследований использовали электронный ротаметр, имеющий ряд существенных преимуществ перед ротаметром со стеклянной трубкой. Приведено описание устройства и принципа работы стенда для исследования плоских аэростатических опор. В процессе экспериментальных исследований рассмотрено 4 разных профиля канавок. Проведены экспериментальные исследования высоты подъема плиты для канавок с различным профилем. Установлено, что при одинаковых условиях наибольшая высота подъема плиты достигается для аэростатической опоры с каплевидным профилем.

Ключевые слова: газовая смазка, аэростатические опоры, уплотнительная канавка, грузоподъемность.

Теоретические исследования аэростатических опор нашли свое отражение в научно-исследовательских разработках [1–3, 5, 6, 8]. В работе [5] приведена методика расчета аэростатических опор для выбора конструкций и параметров аэростатической отжимной направляющей и аэростатической направляющей линейки.

Расчет аэростатической опоры выполнен численным методом, разработанным в ЭНИМСе [7]. Он основан на аппроксимации поля давления в зазоре разностными алгебраическими уравнениями. Метод учитывает двухмерность потока смазки в опорах различной конфигурации и дает результаты, близкие к реальным. При этом приняты следующие допущения.

1. Не учитываются отклонения линий потока от направления, перпендикулярного микроканавкам, при увеличении зазора и уменьшении сечения микроканавки.

2. Движение воздуха в канавках принимается ламинарным. Однако в процессе формирования ламинарного потока проявляется беспорядочность и завихрения. Так как в турбулентном потоке по сравнению с ламинарным сопротивление движению газа больше, то давление в реальной микроканавке падает быстрее, чем в расчетной. Это приводит к некоторому завышению расчетных значений подъемной силы.

3. Не учитываются силы инерции в потоке смазки. В реальных опорах имеет место «скачок» давления в зазоре вблизи отверстия. Это связано с тем, что при выходе из отверстия в зазор каждая частица воздуха испытывает значительное увеличение объема и скорости, его плотность и давление резко падают. Это приводит к некоторому завышению расчетных значений подъемной силы.

Учет влияния указанных явлений привел бы к неоправданному усложнению расчетов. Создаваемая при этом погрешность усреднена поправочной величиной.

На рис. 1 приведена обособленная аэростатическая опора шириной B и длиной L . Секция включает замкнутую прямоугольную микроканавку со сторонами b и l . На серединах продольных сторон выполнены отверстия поддува диаметром d . Обособленная аэростатическая опора разбита сеткой с шагом Δy и Δx по соответствующим осям. Шаг сетки:

$$\Delta y = \frac{B}{k}; \quad \Delta x = \frac{L}{n},$$

где k, n – целые положительные числа, определяющие шаг сетки.

Чем больше k, n и, соответственно, меньше шаг сетки, тем точнее аппроксимация распределения давления в зазоре разностными уравнениями. Рассмотрим случай, когда перекокс отсутствует, т. е. зазор в опоре постоянен ($h = const$).

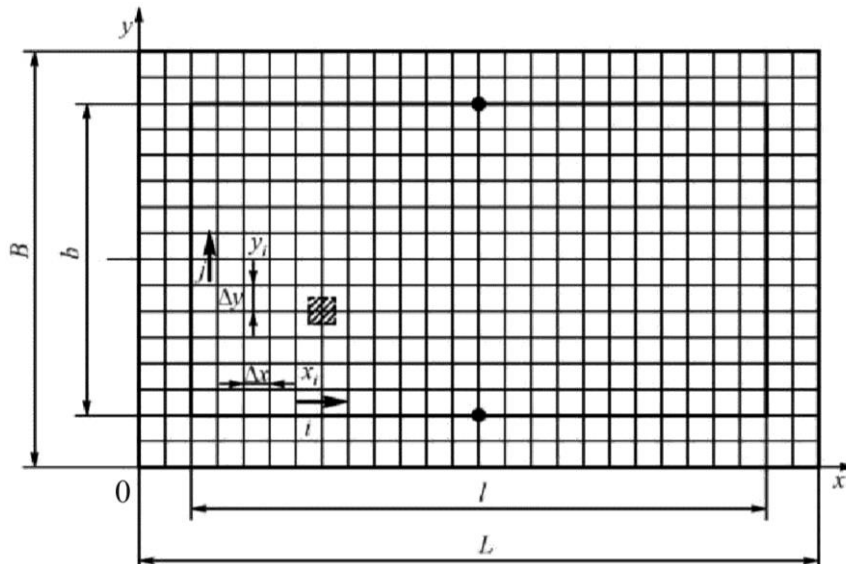


Рис. 1. Расчетная схема аэростатической опоры

Для проведения исследований была разработана программа расчета аэростатических опор с использованием математического пакета Maple 12.0 фирмы «Waterloo Maple Inc». Для подъемных плит размером 150×100 и 130×80 мм количество уравнений было выбрано равным 551 и 375 соответственно. Расчеты выполнены при следующих значениях факторов: коэффициент динамической вязкости воздуха $\mu = 17,95 \cdot 10^{-6}$ Па·с; плотность атмосферного воздуха $\rho_a = 1,2$ кг/м³; атмосферное давление $p_a = 9,81 \cdot 10^4$ Па; коэффициент истечения воздуха $\alpha = 0,85$.

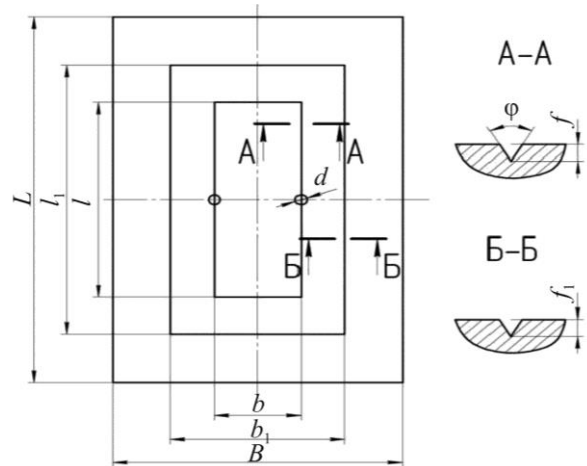
В ходе эксперимента определено влияние уплотнительной канавки на грузоподъемность аэростатической опоры.

Для оценки этого влияния была взята аэростатическая опора, имеющая следующие параметры:

- размеры аэростатической опоры $B \times L = 100 \times 150$ мм;
- размеры распределительной канавки $b \times l = 40 \times 90$ мм;
- глубина распределительной канавки $t = 0,4$ мм;
- размеры уплотнительной канавки $b_1 \times l_1 = 60 \times 110$ мм;
- глубина уплотнительной канавки $t_1 = 1,0$ мм;
- диаметр отверстий поддува $d = 0,6$ мм;
- число отверстий поддува $z = 2$;
- избыточное давление подводимого воздуха $p_{и} = 0,4$ МПа;
- угол профиля микроканавки $\varphi = 60^\circ$.

Схема рабочей поверхности аэростатической опоры приведена на рис. 2.

Рис. 2. Схема рабочей поверхности аэростатической опоры с уплотнительной канавкой



Общий вид станда для исследования характеристик аэростатических опор показан на рис. 3, пневматическая схема экспериментальной установки [4] – на рис. 4.

Пневмосистема включает компрессор (номинальная производительность – 630 л/мин, максимальное давление сжатого воздуха – 1,0 МПа, объем ресивера – 150 л); воздухопроводящую магистраль, состоящую из резиновых напорных рукавов; фильтр-влагодетелитель типа В41-13 для удаления из сжатого воздуха механических включений и влаги; игольчатый пневмоклапан для регулировки давления воздуха, встроенный в ротаметр; манометр газовый с верхним пределом измерения давления воздуха 0,6 МПа.

Объемный расход воздуха определяется с помощью электронного ротаметра-регулятора расхода для газов MASS-VIEW MV-306 компании «Bronkhorst High-Tech B.V.», который имеет ряд существенных преимуществ перед ротаметром со стеклянной трубкой:

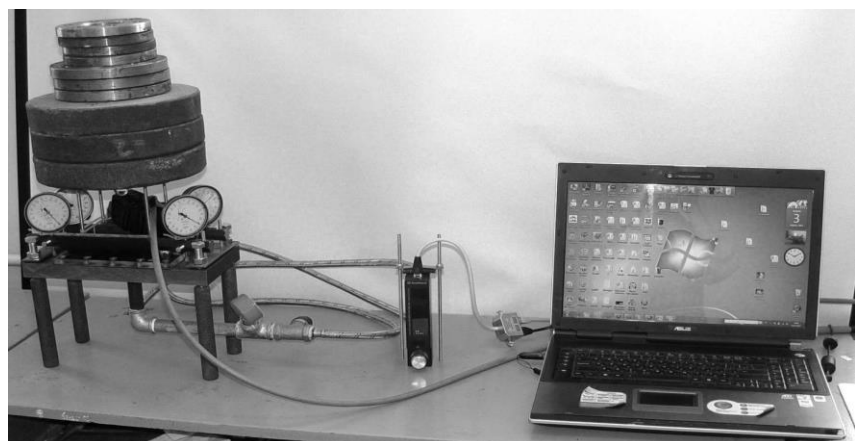
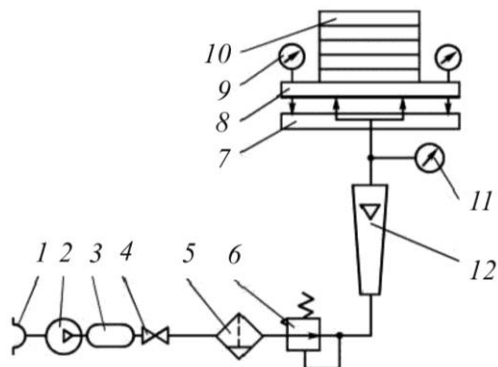


Рис. 3. Общий вид станда для исследований плоских аэростатических опор

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



отображение на экране текущего расхода (число и гистограмма), единиц измерения расхода, типа газа, полного расхода;
 яркий OLED-дисплей, широкий угол обзора;
 независимость от положения монтажа, температуры и давления;
 низкий перепад давления;
 широкий диапазон расходов;
 быстрый отклик и высокая точность;
 электронный, аналоговый (0...5 В) и цифровой выходы;
 Modbus-RTU, RS232 интерфейсы;
 защита паролем;
 функции сигнализатора и счетчика;
 цифровая калибровка.

Стенд для исследования плоских аэростатических опор (рис. 5) состоит из рамы, к которой винтами крепится исследуемая опора с жестко закрепленной направляющей. Относительно опоры в вертикальном направлении перемещается подъемная плита. На плите установлена жесткая рамка с закрепленными на ней четырьмя индикаторами часового типа 1МИГ (ГОСТ 9696–75), шкала которых имеет цену деления 1 мкм. По показаниям индикаторов

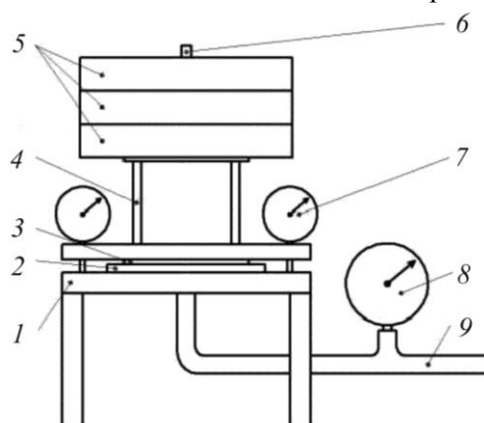


Рис. 5. Схема стенда для исследования плоских аэростатических опор: 1 – основание стенда; 2 – аэростатическая опора; 3 – подъемная плита; 4 – жесткая рамка; 5 – груз; 6 – направляющий стержень; 7 – индикатор часового типа 1МИГ; 8 – манометр; 9 – рукав

определяется зазор между рабочей поверхностью опоры и подъемной плитой. В средней части жесткой рамки закреплен вертикальный направляющий стержень, на котором крепится груз, представляющий собой стальные диски с отверстием в центре.

Сжатый воздух по напорному рукаву подводится через отверстие в нижней части исследуемой опоры. Давление подводимого сжатого воздуха определяется по манометру. Сжатый воздух проходит через отверстия поддува, распределяется по микроканавкам и выходит в атмосферу. Между рабочей поверхностью опоры и подъемной плитой образуется зона повышенного давления, которая определяет грузоподъемную силу и величину зазора. В некоторых вариантах опоры были выполнены уплотнительные микроканавки.

Работа на экспериментальной установке проводится следующим образом. На основании стенда закрепляется исследуемая опора. Подъемная плита устанавливается на опору и загружается стальными дисками. Стрелки индикаторов устанавливаются на нулевые отметки. К опоре подается сжатый воздух (заданное давление контролируется по манометру). Замеряются зазор между опорой и подъемной плитой по индикаторам и расход воздуха по показанию ротаметра.

При экспериментальных исследованиях рассмотрено 4 разных профиля канавок (рис. 6) с постоянной глубиной $t_1 = 1,0$ мм. Для канавки с профилем равностороннего треугольника высота подъема плиты составила 48 мкм, для канавки с треугольным профилем с одной стороной, перпендикулярной к поверхности опоры, – 49 мкм, для канавки с треугольным профилем с одной криволинейной стороной – 52 мкм, для канавки с профилем, близким к каплевидной форме, – 55 мкм.

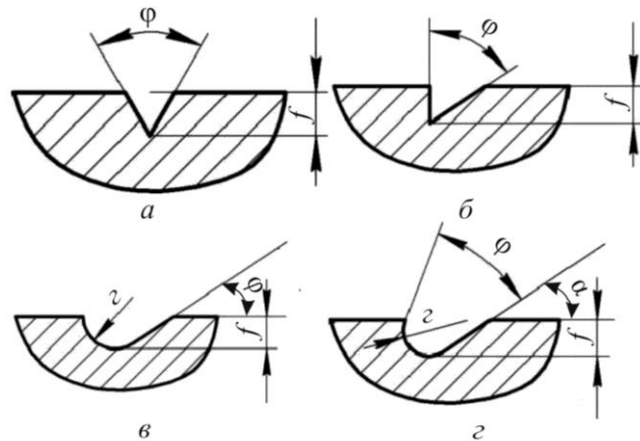


Рис. 6. Профили уплотнительных микроканавок: *a* – равносторонний треугольник, *б* – треугольный профиль с одной стороной, перпендикулярной к поверхности опоры, *в* – треугольный профиль с одной криволинейной стороной, *г* – профиль, близкий к каплевидной форме

Таким образом, при одинаковых условиях наибольшая высота подъема плиты достигается для аэростатической опоры с каплевидным профилем, что соответствует наибольшей подъемной силе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баласаньян В.С. Плоская прямоугольная аэростатическая опора с микроканавкой // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1973. № 4. С. 8–15.
2. Берлин Э.П. О методах повышения устойчивости ленточных пил // Науч. тр. ЦНИИМОД. Архангельск, 1968. С. 119–123.
3. Берлин Э.П. Экспериментальные исследования силовых характеристик аэростатических направляющих для ленточных пил // Науч. тр. ЦНИИМОД. Архангельск, 1968. С. 253 – 260.
4. Иванкин И.И. Определение основных эксплуатационных показателей делительного ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2001. 146 с.
5. Иванкин И.И., Прокофьев Г.Ф., Дундин Н.И., Банников А.А. Теоретические исследования плоских аэростатических опор // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. 1998. Вып. 4. С. 32–39.
6. Прокофьев Г.Ф., Дербин М.В. Определение напряжений в ленточной пиле при применении отжимных направляющих // Лесн. журн. 2011. № 5. С 131 – 137. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Шейнберг С.А., Жедь В.П., Шишеев М.Д., Баласаньян В.С., Заблоцкий Н.Д. Опоры скольжения с газовой смазкой. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1979. 396 с.
8. Шубный П.Б., Дербин М.В., Ковалев Л.Н. Определение возможности использования аэростатических направляющих для охлаждения круглых пил при пилении древесины // Лесн. журн. 2011. № 5. С 138 – 140. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 01.04.13

Experimental Base for Determination Form of the Sealing Gutter Aerostatic Bearing

Derbin M.V., Candidate of Engineering, Teaching Assistant

Derbin V.M., Candidate of Engineering, Associate Professor

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

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

E-mail: m.v.derbin@mail.ru

Links to theoretical research aerostatic bearings and the method of their calculation for choosing options aerostatic directing are provided. The calculation is made by a numerical method, based on approximation of field pressure in the gap differential algebraic equations, taking into account the two-dimensionality of the grease flow in the bearings of various configuration and giving results close to the actual. With the adopted assumptions, providing the simplification of calculations, not taken into account deviations of the lines flow from the direction perpendicular to micro gutter, with increasing the gap and reducing

cross-section of micro gutter; air motion in the groove is assumed laminar; inertial forces in the grease flow are not considered. The scheme of the aerostatic bearing with the given parameters, which are the width and length, is shown. The bearing section includes a closed rectangular micro gutter, by the middle of longitudinal sides of which blowing holes are made.

Separate aerostatic bearing is partitioned by array. Using special mathematical package for calculation of aerostatic bearings a program is developed. In experimental studies to evaluate the impact of the sealing gutters on the carrying capacity of aerostatic bearings was taken aerostatic bearing with the given parameters. The scheme of working surface aerostatic bearings with sealing gutter and the general appearance of the stand for investigation of aerostatic bearings are shown. Circuit description of the pneumatic system of experimental setup is given, it includes a compressor, the air-conducting magistral, consisting of rubber pressure hoses, the filter- moisture separator for removal mechanical impurities and moisture from the compressed air, the needle pneumatic valve to adjust air pressure, integral in rotameter, and the absolute manometer.

For experimental studies the electronic rotameter is used, which has a number of advantages over the rotameter with a glass pipe. The description of widget and principle of the stand work for investigation of flat aerostatic bearings is shown. In experimental studies 4 profile of grooves is examined. The findings of experimental studies of the lifting plates height for gutters with different profile are given. It has been stated under the same conditions, the maximum height of lifting plates achieves for aerostatic bearings with teardrop-shaped profile that corresponds to the greatest ascensional force of aerostatic bearings.

Keywords: gas film, aerostatic bearings, sealing gutter, lifting power.

REFERENCES

1. Balasanyan V.S. Ploskaya pryamougol'naya aerostaticeskaya opora s mikrokanavkoy [Flat Rectangular Aerostatic Bearing with Micro Gutter]. *Izvestiya AN SSSR, Mekhanika zhidkosti i gaza*, 1973, no. 4, pp. 8–15.
2. Berlin E.P. O metodakh povysheniya ustoychivosti lentochnykh pil [About the Methods of Increasing Resistance Band Saws]. *Nauch. tr. TsNIMOD* [Scientific Works]. Arkhangelsk, 1968. pp. 119–123.
3. Berlin E.P. Eksperimental'nye issledovaniya silovykh kharakteristik aerostaticeskikh napravlyayushchikh dlya lentochnykh pil [Experimental Studies of Aerostatic Guides Power Characteristics for Band Saws] *Nauch. tr. TsNIMOD* [Scientific Works]. Arkhangelsk, 1968. pp. 253–260.
4. Ivankin I.I. *Opreделение osnovnykh ekspluatatsionnykh pokazateley delitel'nogo lentochnopil'nogo stanka s krivolineynymi aerostaticeskimi napravlyayushchimi*: dis... kand. tehn. nauk. [Definition of the Basic Operational Indicators the Dividing Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides: Cand. Tech. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2001. 146 p.
5. Ivankin I.I., Prokofev G.F., Dundin N.I., Bannikov A.A. Teoreticheskie issledovaniya ploskikh aerostaticeskikh opor [Theoretical Research of Flat Aerostatic Bearings] *Okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnykh resursov: sb. nauch. tr.* [Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources: Collected Papers]. 1998, vol. 4, pp. 32–39.

6. Prokofev G.F., Derbin M.V. Opredelenie napryazheniy v lentochnoy pile pri primeneniі otzhimnykh napravlyayushchikh [Determination of Stresses in the Band Saw when Applying Wringer Guides]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 5, pp.131–137.

7. Sheynberg S.A., Zhed' V.P., Shisheev M.D., Balasanyan V.S., Zablotskiy N.D. *Opory skol'zheniya s gazovoy smazkoy* [Sliding Bearing with Gas Film]. Moscow, 1979. 396 p.

8. Shubnyy P.B., Derbin M.V., Kovalev L.A. Opredelenie vozmozhnosti ispol'zovaniya aerostaticeskikh napravlyayushchikh dlya okhlazhdeniya kruglykh pil pri pilenii drevesiny [Determining the Possibility of Circular Saw Aerostatic Guides for Cooling Saws in the Process of Sawing Timber]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 5, pp. 138–140.
