

УДК 681.5:621.398.2

UDK 681.5:621.398.2

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УСТРОЙСТВ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ
ПОДУШКЕ****AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF
CHARACTERISTICS OF DEVICES OF
MOVING ON THE AIR PILLOW**

Мурзинов Валерий Леонидович
д.т.н., доцент
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Murzinov Valery Leonidovich
Dr.Sci.Tech., associate professor
*Voronezh State Academy of Forestry and
Technologies, Voronezh, Russia*

Рассмотрены методы струйной пневмоавтоматики применительно к устройствам перемещения на воздушной подушке. Показана локальная система, построенная на основе методов струйной пневмоавтоматики, для управления толщиной воздушной подушки. В статье отражена возможность автоматического удаления запыленного воздуха из рабочей зоны пневмотранспортной системы. На основе гидродинамического расчета определены соотношения для инженерных расчетов значений характеристик устройств перемещения

Methods of jet pneumoautomatics with reference to devices of moving on an air pillow are considered. The local system constructed on the basis of methods of jet pneumoautomatics, for management of thickness of an air pillow is shown. In clause the opportunity of automatic removal of dusty air from a working zone of pneumotransport system is reflected. On the basis of hydro dynamical calculation parities for engineering calculations of values of characteristics of devices of moving are determined

Ключевые слова: СТРУЙНАЯ
ПНЕВМОАВТОМАТИКА, ВОЗДУШНАЯ
ПОДУШКА, УПРАВЛЕНИЕ

Keywords: JET PNEUMOAUTOMATICS, AN AIR
PILLOW, MANAGEMENT

Транспортные устройства на воздушной подушке обеспечивают высокую свободу маневрирования и безвибрационное перемещение грузов, требующих особой осторожности в обращении. Средства на воздушной подушке среднего давления стали применять во все возрастающем масштабе в заводских условиях для межоперационного транспортирования. Они не требуют идеально ровного пола, поскольку их ограждение эластично и хорошо «вписывается» в неровности опорной поверхности.

Рассматриваемые средства применяют как при временных перемещениях грузов, так и в качестве составляющих технологических производственных линий. Модули на воздушных подушках зачастую представляют собой единственный рациональный вариант при временных перемещениях станков и оборудования, квартирных блоков и других грузов, весящих десятки тонн.

Платформы на воздушной подушке позволяют усовершенствовать внутризаводскую транспортировку тяжелых предметов. На автомобильных заводах успешно используются модули для перемещения сборочных единиц от операции к операции. Для подачи материалов в сушильнях также спроектированы системы на воздушных подушках. Они работают полностью в автоматическом режиме и занимают мало места. При транспортировке рулонов листовой стали массой до 24 т хорошо зарекомендовали себя устройства на воздушной подушке, управляемые компьютером, команды которого передаются платформам по заглубленному в полу сигнальному кабелю.

Основным недостатком этих платформ на воздушной подушке является необходимость подвода сжатого воздуха. Используемые для этого эластичные шланги, создают определенные неудобства для транспортных операций в ограниченном объеме заводских условий. Даже если платформы снабжены автономными источниками сжатого воздуха, то это все равно является неудобством в процессе эксплуатации, т.к. необходимо пополнять автономные источники. Сами платформы в этом случае достаточно сложны и громоздки.

Вышеназванных недостатков лишены системы транспортирования штучных грузов на воздушной подушке с подачей воздуха только под опорную поверхность транспортируемого груза. Вдоль маршрута транспортирования груза в производственных условиях в полу укладываются опорные поверхности, снабженные соплами, подающими сжатый воздух только при появлении над ним опорной поверхности транспортируемого груза. В работе этих сопел реализуется принцип струйной автоматики [1].

На рис. 1 показан фрагмент внутрицехового транспортного маршрута. Перемещение груза на воздушной подушке осуществляется следующим образом. Груз 12 появляется над отверстием 2, закрытым

пластинами 4. Под опорной поверхностью груза в полости отверстия 2 образуется избыточное давление благодаря наличию расхода воздуха, подаваемого через канал 8 и отверстия 9. Камеры управления 7, расположенные со стороны поступления груза 12 соединяются с источником избыточного давления, величина которого намного меньше среднего давления в воздушной прослойке под опорной поверхностью транспортируемого груза.

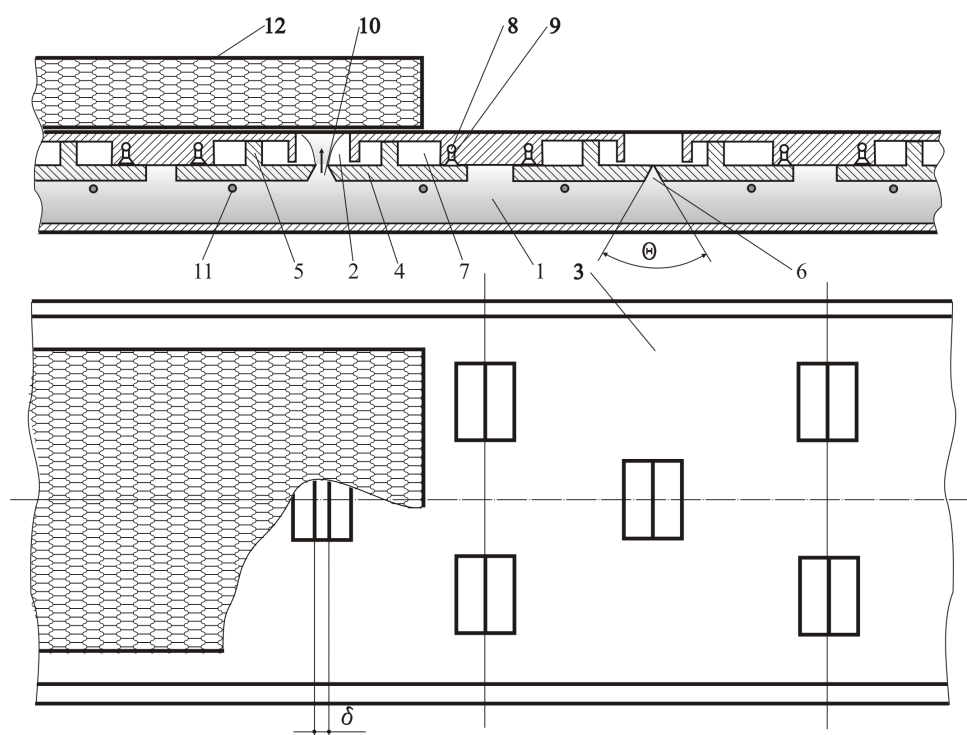


Рис.1. Фрагмент внутрицехового транспортного маршрута.

Противоположные камеры управления 7 соединяются с атмосферой. Давление в полости отверстия 2 под несущей поверхностью груза 12 и давление в камерах управления 7, образуют перепад давления, действующий на прямоугольные выступы 5. Пластины 4 под действием этого перепада раздвинутся на величину d , образуя щелеобразное отверстие 10, через которое из пневмокамеры 1 под несущую поверхность поступит воздух и груз зависнет на воздушной прослойке, толщина которой определится расходом воздуха из щелевого отверстия 10, а также весом и геометрическими параметрами несущей поверхности.

Параметры, определяющие величину d и усилия, действующие на пластины 4 можно выбрать таким образом, что изменение величины d , а, следовательно, расход воздуха будет изменяться по закону, который обеспечит постоянство толщины воздушной прослойки под опорной поверхностью в определенном интервале значений. Зависимость между силой тяжести груза и шириной d щелеобразного отверстия 10 существует благодаря наличию наклонных стыкующихся поверхностей 6 пластин 4, образующих между собой угол Θ , величина которого должна быть не более 8° .

Если стыкующиеся поверхности будут параллельными ($\Theta=0$), то зависимости между величиной d и силой тяжести груза не будет, при этом отверстие 10 будет открываться на максимальную величину, как только среднее давление в воздушной прослойке под несущей поверхностью превысит необходимую величину. В нашем случае открытое щелеобразное отверстие 10 под грузом сформирует ($\Theta>0$) вертикальную плоскую струю, взаимодействующую с ближайшей стенкой отверстия 2, создающей условия для изменения угла отклонения струи при смещении щелеобразного отверстия 10. Для обеспечения вертикального положения струи в начальный момент, создается подпорное избыточное давление в камере управления 7, расположенной со стороны поступления изделия относительно отверстия 2. Это давление, воздействуя на прямоугольный выступ 5, сместит пластины 4 в сторону движения изделия на максимальную величину, которая выбирается такой, что центр щелевого отверстия 10 будет располагаться около стенки отверстия 2, обеспечив тем самым сохранение вертикального положения струи при появлении изделия над отверстием 2. В такое же положение перейдут пластины 4 всех последующих отверстий 2.

Устойчивая работа направляющих в режиме стабилизации толщины

воздушной прослойки и скорости транспортирования груза существует благодаря газовой смазке, примененной для исключения контакта между подвижными пластинами 4 и несущей поверхностью 3 направляющих. Экономическая целесообразность использования газовой смазки во многом зависит от величины потребляемого расхода воздуха и определяется размерами пластин и давлением в пневмокамере 1. На величину расхода воздуха наиболее существенно оказывает влияние толщина газовой смазки, которая должна быть минимальных размеров, но исключать контакт между поверхностями. Минимальное значение толщины газовой смазки определяется шероховатостью скользящих поверхностей, которые могут быть изготовлены с достаточно высокой степенью чистоты обработки, обеспечивающей величину микро неровностей порядка 10^{-6} м. Поэтому толщина газовой смазки может быть принята того же порядка, что и высота микро неровностей скользящих поверхностей.

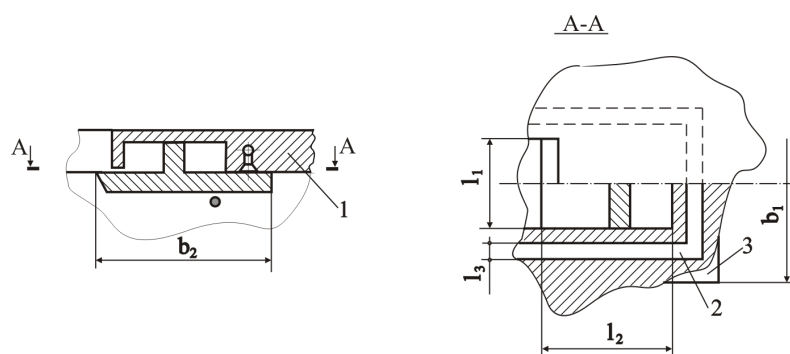


Рис.2. Схема расположения кармана и отверстий для газовой смазки.

Конкретная схема расположения скользящих поверхностей в конструкции опорной поверхности представлена на рис.1. Подача газовой смазки осуществляется через каналы 8 и 9 от пневматической сети с избыточным давлением $4 \cdot 10^5$ Па. В несущей поверхности 1 (рис. 2) направляющих выполнен карман 2, обеспечивающий равномерную подачу воздуха между несущей поверхностью 1 и подвижной пластиной 3.

На расчетной схеме (рис. 3) показаны два плоских канала шириной h ,

обеспечивающих газовую смазку между несущей поверхностью 1 и подвижной пластиной 2, которая прижимается к несущей панели снизу силой, образованной избыточным давлением в пневмокамере. В связи с этим, согласно [2] возникает задача определения параметров течения воздуха в узком канале, образованном параллельными пластинами. Данное течение воздуха описывается системой дифференциальных уравнений [3], после упрощения, которой с учетом установившегося режима течения запишем [4]

$$\left. \begin{aligned} r \left(U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + m \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \\ \frac{\partial P}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(rU)}{\partial x} + \frac{\partial(rV)}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

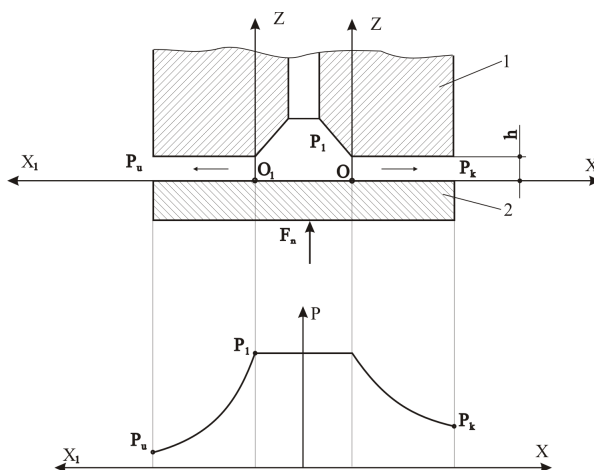


Рис.3. Расчетная схема течения воздуха между скользящими поверхностями

Решение уравнения (4) применительно к расчётной схеме на рис.3 позволило определить [2] толщину газовой смазки

$$h = \sqrt[3]{ \frac{ (L_n l_3 P_1 - F_n)(P_1^2 - P_k^2) \left(F_n P_k - 2P_1^2 x_n L_n \left(\frac{P_1}{P_k} \right)^{1/5} - P_k L_n l_3 P_1 \right) \mu^2 x_n k_2^2 }{ \left(P_k P_1^3 \ln \left(\frac{P_1}{P_k} \right) k_1 \rho_1 \left(2L_n P_k \left(\frac{P_1}{P_k} \right)^{1/5} x_n - F_n + L_n l_3 P_1 \right) \right)^2 } }. \quad (3)$$

Толщина воздушной подушки под транспортируемыми изделиями определена в работе [3] и имеет вид

$$h = \left\{ \frac{3\mu(R^2 - d^2)}{2RP_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(P_k - \frac{2R}{R+d} P_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \right)} \left[\frac{2H_o \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{1 + \frac{P_k(R+d)}{2RP_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}} - 2 \frac{H_o}{H_1}} \right] \right\}^{1/3} \quad (4)$$

Величина расхода газовой смазки зависит от параметров клапана, давления в питающей магистрали и давления в пневмокамере и имеет вид

$$Q_c = \left[\frac{R}{2} \left(\frac{4}{3} x_n + l_3 \right) - \frac{F_n}{2L_n} \right]^{0.75} \sqrt{\frac{m^2}{8.68 \cdot 10^{-4} RT_1 P_1 x_n}}, \quad (5)$$

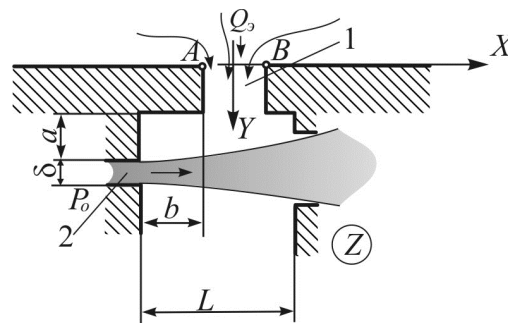


Рис.4. Расчетная схема для определения расхода воздуха через рабочее сопло. 1 – рабочее сопло, 2 – питающее сопло.

Эжектирующая способность воздушных струй пневмоконвейера позволяет организовать удаление запыленного воздуха из рабочей зоны. Рассмотрим элемент пневмоконвейера, содержащий одно питающее сопло и одно рабочее сопло. Схема этого элемента показана на рис.4.

Над несущей поверхностью пневмоконвейера располагается рабочая зона, в которой находится запыленный воздух. Удаление этого воздуха из рабочей зоны происходит через рабочие сопла, находящиеся в режиме «холостого хода» [5]. Расход воздуха через рабочее сопло будет определяться соотношением

$$Q_y = Q_L - Q_o, \quad (6)$$

где $Q_L = Q_o + 0.035 \frac{2L}{d} Q_o$ – расход струйного потока в сечении, находящегося

на расстоянии L от среза питающего сопла; $Q_o = d \sqrt{\frac{2P_o}{r}}$ – расход воздуха

через питающее сопло; P_o – избыточное давление воздуха перед питающим соплом; r – плотность воздуха. После преобразований имеем

$$Q_y = 0.07L \sqrt{\frac{2P_o}{r}}. \quad (7)$$

Учитывая размеры рабочего пространства над несущей поверхностью пневмоконвейера можно рассматривать воздух как идеальную жидкость, лишенную вязкости и сжимаемости. Течение воздуха в границах, определенных схемой на рис.2 считать плоским стационарным движением несжимаемой жидкости

Основные дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости получаются путем упрощения общих уравнений движения жидкости. Если учесть отсутствие вихревого движения в рассматриваемой схеме движения воздушных потоков, можно получить уравнение движения, взяв за основу уравнение Эйлера в форме Громека-Ламба

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + grad\left(\frac{V^2}{2} + \mathfrak{R} + \dot{I}\right) + rot\bar{V} \times \bar{V} = 0, \quad (8)$$

где \bar{V} – вектор скорости в идеальной жидкости; $\mathfrak{R} = \int_{p_o}^p \frac{dp}{r(p)}$ – функция давления; Π – потенциал объемных сил. Допустим, что плотность воздуха для рассматриваемой схемы величина постоянная, тогда для описания движения воздушных потоков можно использовать уравнение Лапласа

$$\nabla^2 j = 0 \quad (9)$$

или для плоской задачи

$$\frac{\partial^2 j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 j}{\partial y^2} = 0,$$

где j – потенциал скоростей. Решение этого уравнения при заданных граничных условиях может быть достаточно эффективно решена при помощи метода комплексной переменной.

Исходя из этого уравнения, потенциал скоростей можно считать действительной частью функции комплексного переменного $w(z) = j + if$, где $z = x + iy$. Функция $w(z)$ называется характеристической функцией или

комплексным потенциалом. Мнимая часть ϕ характеристической функции называется функцией тока.

Сопряженные функции j и f удовлетворяют условиям Коши – Римана

$$\frac{\partial j}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial y}, \quad \frac{\partial j}{\partial y} = -\frac{\partial f}{\partial x},$$

которые обеспечивают независимость значения $\frac{dw}{dz}$ в точке z от направления, по которому производится дифференцирование.

Обозначим через Θ угол, образуемый вектором скорости в какой-нибудь точке плоскости течения z с осью x . Тогда проекции вектора скорости на оси координат будут равны

$$\begin{aligned} v_x &= v \cos \Theta = \frac{\partial j}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial y}, \\ v_y &= v \sin \Theta = \frac{\partial j}{\partial y} = -\frac{\partial f}{\partial x}, \end{aligned} \tag{10}$$

где v – модуль вектора скорости.

Обратимся теперь к функции $\frac{d\omega}{dz}$, называющейся комплексной скоростью. Согласно (5)

$$\frac{d\omega}{dz} = \frac{\partial j}{\partial x} + i \frac{\partial f}{\partial x} = v_x - i v_y = v e^{-i\Theta}.$$

Очевидно, комплексная скорость $\frac{d\omega}{dz}$ является зеркальным отображением относительно оси x вектора скорости

$$\frac{d\bar{\omega}}{dz} = v_x + i v_y = v e^{i\Theta}.$$

Здесь приняты следующие предположения. Жидкость невесома, идеальна, несжимаема. Капиллярных сил нет. Вихри отсутствуют. Течение установившееся. Задача плоская.

Тогда в конечном итоге получается функция от комплексного потенциала

$$z(w) = -\frac{1}{v_0 2} \int \frac{1 + \sqrt{1 - 4 \left(\exp \left(\frac{wp - q \ln(2) + qpi}{q} \right) \right)^2}}{\exp \left(\frac{wp - q \ln(2) + qpi}{q} \right)} dw. \tag{11}$$

Уравнение (11) при использовании численных методов позволяет

определять скорости и функции тока запыленного воздуха. По уравнению (11) построены линии тока воздушных потоков в окрестности рабочего сопла пневмоконвейера, что показано на рис.5.

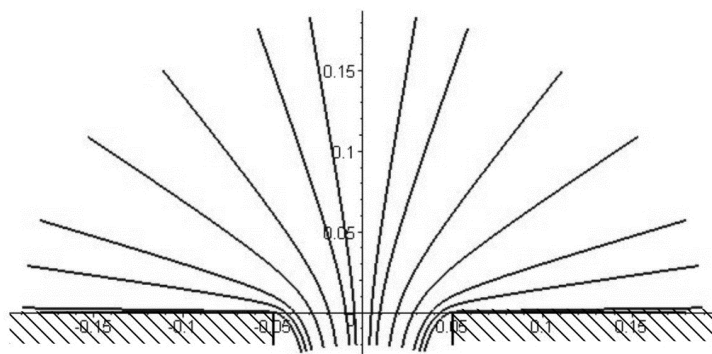


Рис.5. Линии тока воздуха через рабочее сопло. Построение выполнено в относительных величинах по уравнению (11).

Полученные соотношения (3), (4), (5) и (11) предназначены для оценки величин характеристик устройств перемещения на воздушной подушке и могут быть использованные при разработке систем автоматического управления.

Литература

1. Залманзон Л.А. Специализированные аэрогидродинамические системы автоматического управления [Текст]. – М.: Наука, 1978. – 464 с.
2. Мурзинов В.Л. Малошумный пневмоконвейер с дозированной подачей сжатого воздуха в воздушную подушку [Текст] // Известия вузов. Машиностроение. – 2007, №10. – С. 44–50.
3. Мурзинов В.Л. Автоматическая стабилизация толщины воздушной подушки и снижение шумоизлучения в пневмоконвейерах [Текст] // Автоматизация и современные технологии. – 2008, №10. – С. 3–9.
4. Константиnescу В.Н. Газовая смазка [Текст]. – М.: Машиностроение, 1968. – 718 с.
5. Патент 2294885 Российская Федерация, МПК⁷ В 65 G 51/00. Питающее сопло пневмоконвейера [Текст] / Мурзинов В.Л. и др. – Оpubл. 10.03.2007 Бюл. №7.