

МАЛОШУМНЫЙ ПНЕВМОКОНВЕЙЕР С ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧЕЙ СЖАТОГО ВОЗДУХА В ВОЗДУШНУЮ ПОДУШКУ

Канд. техн. наук, доц. В.Л. МУРЗИНОВ

Малошумный пневмоконвейер с дозированной подачей сжатого воздуха в воздушную подушку обладает пониженным шумоизлучением в источнике звука. Пневмоконвейер способен автоматически отключать струйные воздушные потоки при отсутствии транспортируемых изделий. Получено уравнение, определяющее толщину газовой смазки в равновесном состоянии. Показана возможность определения минимально необходимого среднего давления, обеспечивающего надежную работу пневмоконвейера.

The quiet pneumoconveyor with dosed out submission of compressed air in an air pillow possesses lowered radiation of noise in a source of a sound. The pneumoconveyor is capable to disconnect automatically jet air streams at absence a transportation products. The equation determining thickness of gas greasing in an equilibrium condition is received. The opportunity of definition of minimally necessary average pressure providing reliable work of the pneumoconveyor is shown.

Пневмотранспортные устройства, использующие в процессе функционирования воздушную подушку, условно можно объединить в три группы. К первой обычно относят устройства, формирующие воздушную подушку низкого давления до 5 кПа. Ко второй группе относят устройства с воздушной подушкой среднего давления (от 5 до 50 кПа). Третья группа устройств имеет воздушную подушку высокого давления (более 50 кПа), которая действует таким образом, что сжатый воздух поступает в пространство между ровными, достаточно жесткими поверхностями и выполняет функцию газовой смазки. Газ, выходящий под повышенным давлением из зазоров опор, не загрязняет окружающую среду и предохраняет рабочие поверхности от попадания на них через смазочный зазор пыли, масла и т. п. Средства на воздушной подушке среднего давления стали применять во все возрастающем масштабе в заводских условиях для межоперационного транспортирования [1]. Транспортные средства на воздушной подушке обеспечивают высокую свободу маневрирования и безвибрационное перемещение грузов, требующих особой осторожности в обращении.

Пневматические конвейеры, использующие несущую воздушную подушку, обладают низкой металлоемкостью, отсутствием контакта с транспортируемыми изделиями, возможность совмещения операции транспортирования с технологическими операциями нагрева, охлаждения, сушки, обжига [2]. Экологические требования современного производства не всегда позволяют использовать пневматические конвейеры традиционных конструкций: открытые воздушные струи создают дополнительный источник шума [3], а также способствуют образованию вокруг пневмоконвейеров интенсивных конвективных потоков воздуха, повышающих запыленность в рабочей зоне. По этим причинам область использования пневмоконвейеров как транспортных систем сужается. Однако автоматическое управление струйными потоками позволяет создавать пневмоконвейеры с низкой запыленностью и пониженным шумоизлучением.

Одним из пневматических конвейеров, обладающих хорошими экологическими показателями, является малошумный пневмоконвейер с дозированной подачей сжатого воздуха в воздушную подушку [4]. В работе этого пневмоконвейера используются воздуш-

ные потоки среднего давления и газовая смазка. Внешний вид пневмоконвейера показан на рис. 1.

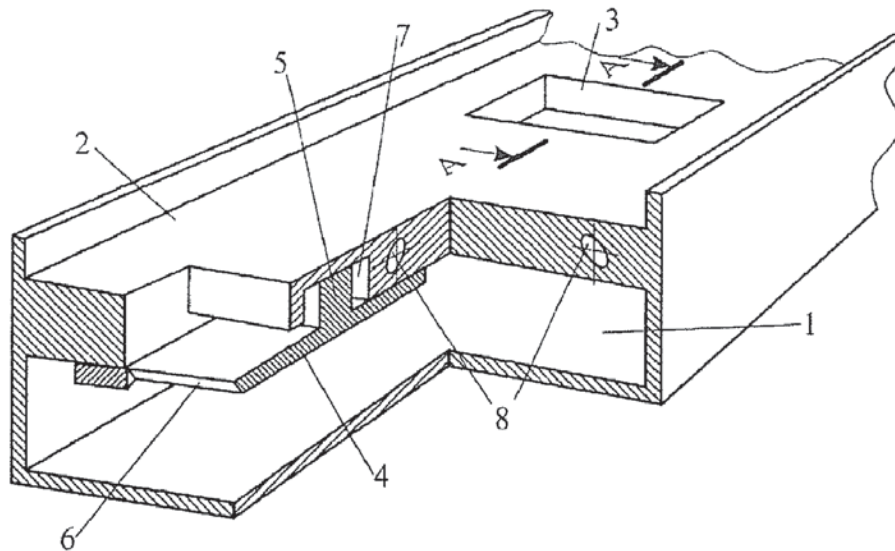


Рис. 1

Устройство пневмоконвейера включает пневмокамеру 1, несущую панель 2 в которой выполнены прямоугольные отверстия 3. Внутри камеры 1 под несущей панелью 2 установлены пластины 4, имеющие выступы 5 расположенные в пазах несущей панели 2. Торцы 6 пластин 4, находящиеся под отверстиями 3, выполнены со срезом и образуют между собой угол α . Прямоугольные выступы 5 и стенки пазов несущей панели 2 образуют камеры управления 7. В несущей панели 2 выполнены каналы 8 и отверстия 9 (рис. 2) для подачи сжатого газа к месту контакта пластин 4 с несущей панелью 2. Пластины 4 могут смещаться друг относительно друга и образовывать щелевое отверстие 10 (рис. 3), а для предотвращения их падения (если нет избыточного давления в пневмокамере 1) предусмотрены опорные штыри 11 (рис. 2).

Пневмоконвейер функционирует следующим образом. В пневмокамеру 1 подается сжатый воздух среднего давления и одновременно через канал 8 соединяются отверстия 9 (рис. 2) с пневмосистемой высокого давления для создания в области контактного трения пластин 4 газовой смазки. Избыточное давление воздуха в пневмокамере 1 прижмет пластины 4 друг к другу и к несущей панели 2 снизу. Щелевое отверстие 10 при этом закроется (рис. 4). Расход воздуха через него будет практически равен нулю. При отсутствии транспортируемых изделий на пневмоконвейере все его щелевые отверстия 10 будут закрыты. Струйные потоки над несущей панелью 2 будут отсутствовать и, следовательно, будет отсутствовать аэродинамический шум. Камеры управления 7 соединены с окружающим пространством и в них давление равно атмосферному.

Появление транспортируемого изделия на несущей панели 2 изменит состояние пластин 4, находящихся под несущей поверхностью этого изделия. На пластины 4 начнут действовать раздвигающие усилия, создаваемые избыточным давлением отработанного воздуха газовой смазки. Под транспортируемым изделием будет создаваться небольшое избыточное давление, воздействующее на выступы 5 и раздвигающее пластины 4. Щелевое отверстие 10 начнет приоткрываться и поток воздуха среднего давления из пневмокамеры 1 устремится в отверстие 3, увеличивая давление под транспортируемым изделием и, со-

ответственно, увеличивая проходное сечение щелевого отверстия 10 до момента наступления равновесия сил, действующих на пластины 4 (рис. 3). Сумма этих сил в проекции на горизонтальную ось равна нулю. После схода транспортируемого изделия с отверстия 3 равновесие сил нарушится, и пластины 4 сразу же сомкнутся.

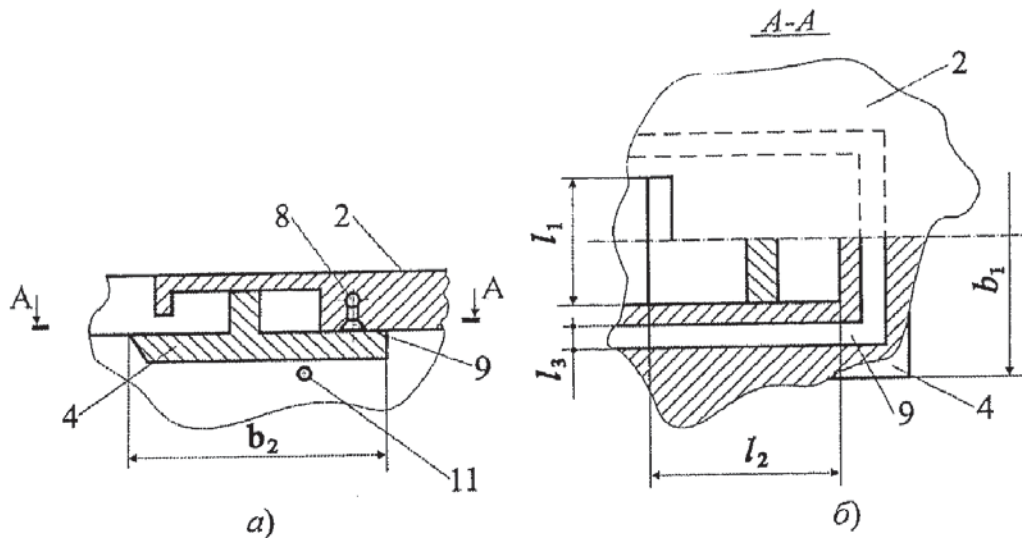


Рис. 2. Схема расположения пластины и отверстий для газовой смазки: а — сечение элементов, разделенных газовой смазкой; б — вид сверху и сечение каналов для подачи газовой смазки

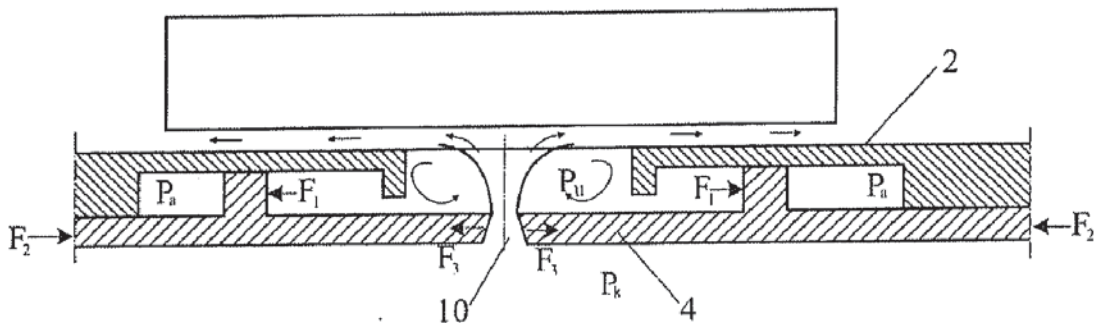


Рис. 3. Положение струйного потока и подвижных пластин пневмоконвейера в режиме транспортирования изделия; F_1 — усилие, формируемое избыточным давлением в воздушной подушке, F_2 — усилие, формируемое избыточным давлением в пневмокамере, F_3 — усилие, формируемое избыточным статическим давлением в коническом канале щелевого отверстия, P_a — атмосферное давление, P_k — давление в пневмокамере.

Устойчивая работа пластин 4 в режиме создания воздушной подушки обеспечивается благодаря газовой смазке. Но эта устойчивость может быть нарушена, если давление в пневмокамере 1 будет такой величины, что толщина газовой смазки станет меньше высоты микронеровностей скользящих поверхностей. Поэтому минимальное значение толщины газовой смазки будет определяться давлением в пневмокамере 1.

Рассмотрим конкретную схему расположения скользящих поверхностей в конструкции пластины 4 и несущей панели 2, представленных на рис. 2. Поверхности скольжения в зоне газовой смазки образуют полосу шириной $\frac{b_1 - l_1}{2}$. Для упрощения расчетов заменим эту полосу, располагающуюся по периметру прямоугольника, эквивалентной прямолиней-

ной полосой. При этом длину зоны газовой смазки в эквивалентной схеме примем равной длине осевой линии отверстия 9 и запишем

$$L_n = b_2 + \frac{1}{2}b_1 + l_2 + \frac{1}{2}l_1, \quad (1)$$

где b_1, b_2, l_1, l_2 — линейные размеры подвижной пластины и несущей панели. Сила, с которой к несущей панели 2 прижимается подвижная пластина 4, образована избыточным давлением в пневмокамере 1

$$F_n = b_1 b_2 P_k - l_1 l_2 P_u - G_n, \quad (2)$$

где G_n — сила тяжести подвижной пластины, P_u — среднее избыточное давление в воздушной подушке.

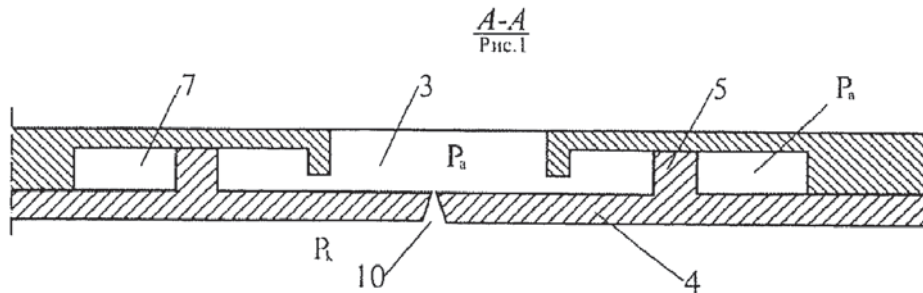


Рис. 4. Положение подвижных пластин пневмоконвейера в режиме отсутствия транспортируемого изделия над прямоугольным отверстием

Для пластины 4 (при условии наличия газовой смазки) можно записать уравнение равновесия в проекции на ось Z

$$F_n - 2L_n \int_0^{x_n} P(x) dx - L_n l_3 P_1 = 0, \quad (3)$$

где L_n — длина кармана, $P(x)$ — распределение давления в газовой смазке, P_1 — давление в отверстии 9. В (3) неизвестным является распределение давления вдоль оси X (рис. 5).

В связи с этим возникает задача определения параметров течения воздуха в узком канале, образованном параллельными пластинами. Данное течение воздуха описывается системой дифференциальных уравнений [5], после упрощения которой с учетом установившегося режима течения запишем

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial z} \right) &= - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \\ \frac{\partial P}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Режим течения будем считать изотермическим, тогда $\frac{P}{\rho} = RT$, где $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ — газовая постоянная, T — абсолютная температура воздуха.

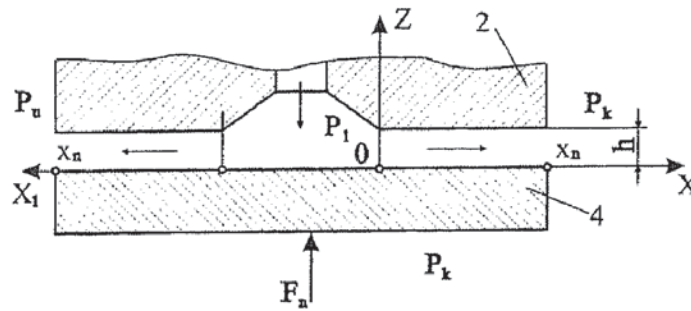


Рис. 5. Расчетная схема для определения гидродинамических характеристик течения в газовой смазке

Решение уравнения (4) с учетом (5) получено в [5] и распределение давления в каналах, необходимое для дальнейших вычислений, имеет вид

$$P^2 x + \frac{k_1 Q^2 P_1}{h^3 \rho_1} \ln P = -\frac{k_2 Q P_1 \mu}{h^3 \rho_1} x - C_1. \quad (6)$$

Учитывая граничные условия

$$\begin{aligned} x=0 & \quad P=P_1, \\ x=x_n & \quad P=P_k, \end{aligned}$$

определим $C_1 = -\frac{k_1 Q^2 P_1 \ln P_1}{h^3 \rho_1}$,

$$Q = \frac{k_2 P_1 x_n \mu + \sqrt{(k_2 P_1 x_n \mu)^2 + 4k_1 P_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_k}\right) P_k^2 x_n \rho_1 h^3}}{2k_1 P_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_k}\right)} \quad (7)$$

Уравнение (6) примет вид

$$P^2 x - \frac{k_1 Q^2 P_1}{h^3 \rho_1} \ln\left(\frac{P_1}{P}\right) + \frac{k_2 Q P_1 \mu}{h^3 \rho_1} x = 0. \quad (8)$$

Решение (8) может быть найдено с помощью функции LambertW(x) [6]

$$P = \frac{P_1}{\exp\left(\frac{1}{2} \text{LambertW}\left(\frac{2P_1 x h^3 \rho_1}{k_1 Q^2} \exp\left(-\frac{2k_2 x \mu}{k_1 Q}\right)\right) + \frac{k_2 x \mu}{k_1 Q}\right)}. \quad (9)$$

Использовать в дальнейших преобразованиях распределение давления (9) несколько сложно, поэтому заменим (9) аппроксимацией вида

$$P_* = \frac{1}{\frac{1}{P_1} + \left(\frac{P_k}{P_1}\right)^{1.2} \left(\frac{h^3 P_1 \rho_1 + k_2 Q \mu}{Q^2 P_1 k_1}\right) x}. \quad (10)$$

Уравнение (3) равновесия пластины 4 с учетом (10) будет

$$F_n - L_n l_3 P_1 = 2L_n \int_0^{x_n} P_*(x) dx \quad \text{или} \quad \frac{F_n - L_n l_3 P_1}{2L_n} = \int_{P_1}^{P_k} P_* \frac{dx}{dP_*},$$

где, учитывая порядок интегрирования, запишем

$$\int_{P_k}^{P_1} P_* \left(\frac{1}{\left(\frac{P_k}{P_1}\right)^{1.2} \left(\frac{h^3 P_1 \rho_1 + k_2 Q \mu}{Q^2 P_1 k_1}\right) P_*^2} \right) dP_* = - \frac{F_n - L_n l_3 P_1}{2L_n}$$

После интегрирования будет

$$\left(\frac{P_k}{P_1}\right)^{1.2} \left(\frac{h^3 P_1 \rho_1 + k_2 Q \mu}{Q^2 P_1 k_1}\right) = \frac{F_n - L_n l_3 P_1}{2L_n} \ln\left(\frac{P_1}{P_k}\right). \tag{11}$$

Подставляя в (11) (7), получим толщину газовой смазки для равновесного состояния пластин 4

$$h = \sqrt[3]{\frac{(L_n l_3 P_1 - F_n)(P_1^2 - P_k^2) \left(F_n P_k - 2P_1^2 x_n L_n \left(\frac{P_1}{P_k}\right)^{1/5} - P_k L_n l_3 P_1 \right) \mu^2 x_n k_2^2}{\left(P_k P_1^3 \ln\left(\frac{P_1}{P_k}\right) k_1 \rho_1 \left(2L_n P_k \left(\frac{P_1}{P_k}\right)^{1/5} x_n - F_n + L_n l_3 P_1 \right)^2 \right)}}. \tag{12}$$

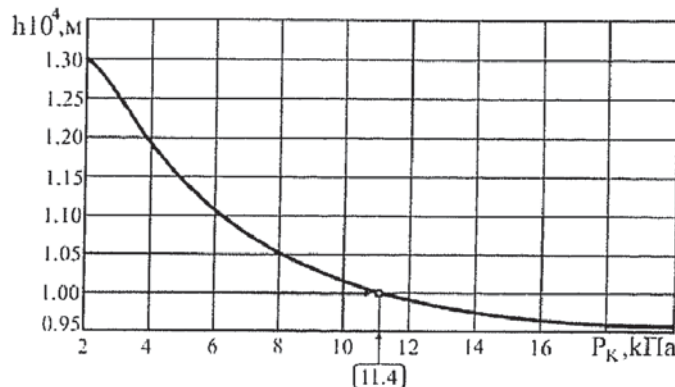


Рис.6. Зависимость толщины воздушной подушки от избыточного давления в пневматической камере при следующих параметрах: $P_1 = 10^5$ Па, $P_n = 10^3$ Па, $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Нс}}{\text{м}^2}$, $x_n = 0,01$ м, $\rho_1 = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $k_1 = 2,4$, $k_2 = 24$,

$$L_n = 0,12 \text{ м}, l_1 = l_2 = 0,03 \text{ м}, l_3 = 0,0001 \text{ м}, S = b_1 b_2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Полученное уравнение (12) позволяет определить минимально необходимое избыточное давление P_k , обеспечивающее надежную работу пневмоконвейера. Например, по техническим рекомендациям толщина газовой смазки должна быть $h \geq 0,0001$ м. Строим зависимость (12) для конкретных параметров, которые указаны на рис. 6. На полученном графике строим уравнение $h_{\min} = 0,0001$. Из анализа графика определяем, что избыточное давление в пневмокамере должно быть $P_k \leq 11,4$ кПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортные средства Мовит на воздушной подушке // Промышленный транспорт. — 1984. — № 8. — С. 25—26.

2. Б и т ю к о в В. К. Пневматические конвейеры. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. — 164 с.
3. Борьба с шумом на производстве / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др.; Под общ. ред. Е.Я. Юдина — М.: Машиностроение, 1985. — 400 с.
4. А.с. 1054240 СССР, МКИ³ В 65 G 51/00. Устройство для транспортирования изделий на воздушной подушке / В.К.Битюков, В.Н. Колодежнов, Б.И. Куцев, В.Л. Мурзинов (СССР). — 3415871/27—11; заявл. 29.03.82; опубл. 15.11.83, Бюл. № 42.
5. Константинеску В. Н. Газовая смазка. — М.: Машиностроение, 1968. — 718 с.
6. R. M. Corless, G. H. Gonnet, D. E. G. Hare, D. J. Jeffrey and D. E. Knuth. On The Lambert W Function./ Advances in Computational Mathematics. — 1996. — №5. — С. 329—359.

629.113.001

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С АБС

Д-р техн. наук, проф. А.А. РЕВИН, асп. В. Ф. АЛОНСО

Проведено исследование нагруженности деталей подвески автомобиля в режиме торможения. Проанализированы причины разрушения элементов подвески при торможении с АБС. Рассмотрен эксперимент, поставленный с целью получения характеристик продольной жёсткости и демпфирования подвески.

We have investigated loading of details of the automobiles suspension in a breaking action. In activity analysis of reasons of fracture suspension components in a breaking action with ABS, experiment, which has been put with the purpose of obtaining of performances of a longitudinal rigidity and damping of the suspension, its outcomes and conclusions about reasons of investigated fracture.

Регулирование тормозных моментов на колесах автомобиля при функционировании антиблокировочной системы (АБС) (часто по циклическому принципу) обуславливает кардинальное отличие от традиционного режима затормаживания юзом и, следовательно, может приводить к возникновению нерасчётных режимов работы элементов конструкции автомобиля и, прежде всего, передней подвески при действии существенно нестационарных продольных сил в течение всего процесса торможения.

Результаты зарубежных исследований по данному вопросу часто не афишируются как мешающие рекламе АБС. Однако по некоторым сведениям испытания в Канаде большегрузных автомобилей и автопоездов с АБС привели к необходимости увеличения металлоемкости подвески на 7—10 %.

Дорожные исследования процесса торможения автомобилей, оборудованных опытными конструкциями АБС третьей категории с модулятором производства АВТОИЖ, проведенные в России ВолгГТУ, а также МАДИ с модуляторами АБС других типов, показали, что возникновение нерасчётных режимов работы элементов подвески может приводить к разрушению элементов подвески даже при малом числе циклов нагружения. Последнее исключает возможность отождествления механизма разрушения с выводами теории усталостных разрушений и, следовательно, применение её рекомендаций для обеспечения долговечности неправомерно.

Очевидно, что необходимо корректировать традиционную методику расчета на прочность элементов подвески при проектировании автомобилей с АБС. Анализ показывает, что величины возникающих на рычагах подвески продольных сил от действия тормозных реакций обычно находятся при прочностном расчете на основе максималь-