

## **Высокоскоростной эстакадный аэропоезд на воздушной подушке**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Приведены сведения об эстакадном и трубопроводном транспорте, работающем на основе принципа воздушной подушки. С учетом положительных качеств этих двух направлений предложена аэродинамическая компоновка аэропоезда на воздушной подушке, движущегося над эстакадой с арочным укрытием (туннелем). Цель – достижение больших наземных скоростей, уменьшение энергетических затрат и обеспечение эксплуатации при любых метеоусловиях окружающей среды. Приведена методика расчета параметров воздушной подушки с баллонным ограждением и энергетических затрат на движение аэропоезда. Дано сравнение затрат на тягу и на подъем аппарата. Рассчитаны параметры для конкретного примера.

**Ключевые слова:** аэропоезд, воздушная подушка, баллонное ограждение, эстакада, методика расчета, энергетические затраты, большая скорость, всепогодность, трасса.

### **Скоростной эстакадный и трубопроводный транспорт на воздушной подушке (ВП)**

**Аэропоезда на ВП.** В качестве высокоскоростного наземного транспорта используют аэропоезда на ВП, движущиеся над специально спроектированной эстакадой. Преимущество аэропоездов на ВП – достижение скоростей, соизмеримых с самолетными. К недостаткам можно отнести зависимость их эксплуатации от погодных условий (дождь, снег, лед).

**Трубопроводный транспорт на ВП.** В пневматических системах грузоносители (капсулы) на ВП движутся по трубе под воздействием потока воздуха, создаваемого специальными нагнетательными установками. Достоинства такого транспорта – их эксплуатация не зависит от метеоусловий окружающей среды. К недостаткам можно отнести большие энергетические затраты как на создание воздушного потока, так и на преодоление сопротивления от «поршневого эффекта». Чтобы уменьшить сопротивление движению, предлагаются, например, скоростные вакуумные поезда (капсулы), движущиеся внутри трубы, из которой выкачивается воздух и поддерживается низкое давление (предложение Elon Musk, USA) [1].

**Постановка задачи.** Развивая зарубежные исследования, авторы предлагают вариант скоростных всепогодных транспортных средств на базе комбинации эстакадного и трубопроводного транспорта с приемлемыми энергетическими затратами. Этому условию отвечают аэропоезда на ВП, движущиеся над эстакадой в развитом арочном укрытии большого поперечного сечения (в туннеле). Цель статьи – предложить методики расчетов, позволяющие установить технические и энергетические параметры такого транспорта.

### **Аэродинамическая компоновка предлагаемого аэропоезда на ВП и транспортная система на его основе**

Транспортная система (рис. 1) включает в себя аэропоезд на ВП 1, движущийся

над наземной эстакадой 2, которая сверху снабжена арочным укрытием 3. Причем арочное укрытие имеет большие габаритные размеры в поперечном сечении и играет роль туннеля. В этом случае воздействие ограниченного пространства вокруг аэропоезда сводится к минимуму. Аэропоезд содержит V-образный центроплан малого удлинения, на нижней поверхности которого закреплены опоры скольжения на ВП с баллонным ограждением (БО) 4. Конструкция и принцип работы таких опор изложены в авторских работах [2, 3]. Благодаря наклонному расположению они выполняют одновременно функции подъемных и направляющих опор.

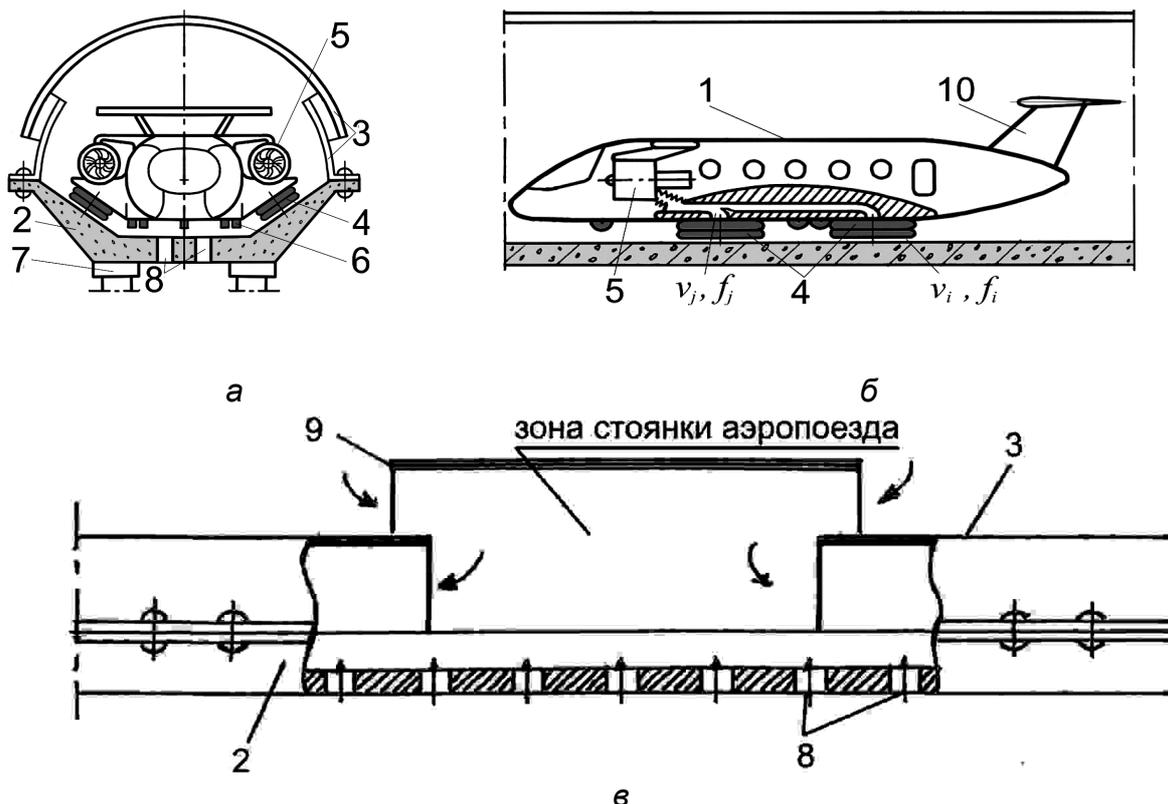


Рис. 1. Предлагаемая транспортная система:

- а – поперечное сечение; б – вид на аэропоезд; в – схема путепровода на остановочной станции: 1 – аэропоезд на ВП; 2 – направляющая эстакада; 3 – арочное (туннельное) укрытие; 4 – опоры на ВП с БО; 5 – подъемно-тяговые установки; 6 – колесное шасси; 7 – стойки для поддержания эстакады; 8 – вентиляционные каналы; 9 – укрытие на остановочной станции; 10 – оперение;  $v_j, f_j$  – скорость и площадь потока на входе в ВП;  $v_i, f_i$  – скорость и площадь потока на выходе из ВП

В качестве движителей используются два турбовинтовентиляторных двигателя 5 (2хТВВД). За каждой такой установкой часть потока (~ 1/5) от внешнего холодного контура, который создается винтовентиляторами, направляется в две опоры на ВП, а большая часть потока (~ 4/5) идет на создание тяги. Забор воздуха можно выполнять с регулированием. Так как двигатели 5 участвуют в создании подъемной силы от ВП и тяги, то их можно рассматривать как подъемно-тяговые установки.

Аэропоезд содержит фюзеляж, колесное шасси самолетного типа 6 и оперение 10. Для колесного шасси предусмотрен электропривод на случай аварийной остановки аэропоезда. Разгон аппарата осуществляется на колесном шасси до скоростей движения порядка 100 км/ч, а далее он движется в парящем режиме. На аппарате установлены четыре опоры на ВП с БО, которые воспринимают все силы и моменты, действующие на аэропоезд. Движение происходит над относительно гладкой поверхностью, поэтому воздушный зазор  $h_o$  может составлять порядка 3 мм. В то же время за счет надувного БО корпус аппарата поднимается на высоту  $H_o \sim 300$  мм.

Для уменьшения загазованности путепровода в нижней части эстакадного полотна 2 по всей длине трассы предусмотрены вентиляционные каналы 8. Другое их назначение – дополнительная подача воздуха, необходимого для нормальной работы турбовинтовентиляторных двигателей 5.

Арочное укрытие 3 выполнено с возможностью вентилирования внутреннего объема. Для рассматриваемого конкретного примера радиус арки составляет порядка 5 м, а суммарная площадь поперечного сечения – 50 м<sup>2</sup>. Суммарный объемный расход двух двигателей по статистике составляет порядка 100 м<sup>3</sup>/с. Поэтому скорость потока в путепроводе не превышает 2 м/с, а с учетом вентиляционных каналов эта скорость будет еще меньше.

Двигатели ТВВД с большой степенью двухконтурности являются самыми экономичными для скоростей движения 800 км/ч. В нашем случае с учетом частичного отбора воздуха на ВП (далее будет показано в расчетах) она снижена до 600 км/ч.

Схема путепровода на остановочной станции показана на рис.1, в. Она дает представление об организации подвода воздуха в путепровод. На участке стоянки аэропоезда арочное укрытие 3 отсутствует, но вместо них устанавливается дополнительное укрытие 9. Вентиляционные каналы 8 на днище эстакады 2 обеспечивают подвод воздуха перед движущимся аэропоездом и в то же время отвод загазованного воздуха за ним. Тем самым обеспечиваются комфортные условия для эксплуатации аэропоездов на ВП.

### Расчет параметров аэропоезда на ВП с БО

Исходные данные для расчета:

1. Принимаем крейсерскую скорость движения аппарата равной  $V_0 = V_{кр} = 166,66$  м/с = 600 км/ч. Скоростной напор потока при такой скорости составляет  $q_o = \rho V_o^2 / 2 = 16,66$  кПа. Давление в ВП должно быть  $\Delta P_{П} \geq q_o$ . Принимаем  $\Delta P_{П} = q_o = 16,66$  кПа.

2. Общая масса аппарата  $m_o = 20$  т. Масса пассажиров составляет  $m_{пас} = 0,4m_o = 8$  т (80 пассажиров). Пусть вертикальная нагрузка на одну опору  $m_y = m_o / 4 = 5$  т. Нагрузка по нормали к опоре (угол наклона  $\alpha = 35^\circ$ ) составляет  $m_1 = m_y / \cos 35^\circ = 60$  кН. На аппарате используют прямоугольные ВП с двухъярусными БО открытого типа [2] (схема и обозначения показаны на рис. 2).

Приняты обозначения  $\lambda = L/B = 2$  (удлинение) и  $a/B = 0,35$ , где  $L$  и  $B$  — длина и ширина опоры на ВП,  $a$  — расстояние между точками закрепления оболочки ограждения. Конструктивная площадь опоры  $S_o = L \cdot B = \lambda \cdot B^2$ . Площадь ВП составляет  $S_{\Pi} \approx 0,9S_o$ . Такой выбор будет обоснован ниже. Принимаем зазор истечения  $h_o = 2$  мм. Конструктивно ВП выполнена таким образом, что она свободно сообщается с полостью надувного ограждения.

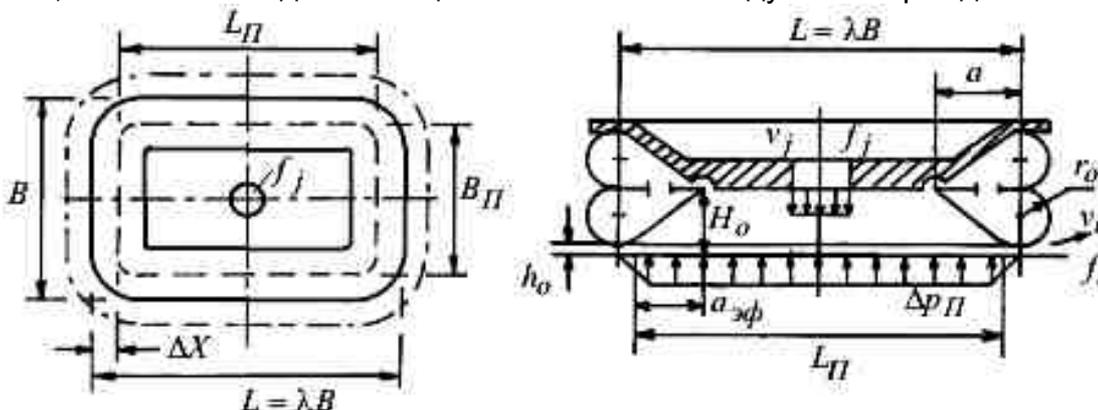


Рис. 2. Схема прямоугольной ВП с БО открытого типа в расчетном положении

### Геометрические и энергетические характеристики опор на ВП

Конструктивная площадь опоры, м <sup>2</sup> .....	$S_o = \frac{m_1 \cdot g}{0,9\Delta P_{\Pi}} = 4$
Ширина опоры, м .....	$B = \sqrt{S_o/\lambda} = 1,4$
Длина опоры, м .....	$L = \lambda \cdot B = 2,8$
Расстояние $a$ , мм .....	$a = 0,35 \cdot B = 490$
Высота подъема опоры, мм .....	$H_o = 302$
Периметр истечения, м .....	$\Pi_i = 6B = 8,4$
Зазор истечения из опоры, мм .....	$h_o = 2$
Площадь истечения, м <sup>2</sup> .....	$f_i = \Pi_i \cdot h_o = 0,0168$
Максимальная скорость истечения, м/с .....	$v_i = \sqrt{2\Delta P_{\Pi}/\rho} = 166,66$
Расход воздуха на выходе из ВП, м <sup>3</sup> /с .....	$Q_i = f_i \cdot v_i = 2,8$
Гидравлическая мощность потока на создание ВП без учета потерь в воздушном тракте, кВт (л. с.).....	$N_{\Pi} = \Delta P_{\Pi} \cdot Q \cdot 10^{-3} = 46,7(63,5)$
Мощность винтовентилятора на создание ВП, кВт (л. с.) .....	$N_V = 1,5N_{\Pi}/\eta = 100$ (136)
Расход воздуха через две опоры, м <sup>3</sup> /с .....	$2Q_i = 5,6$
Мощность винтовентилятора на две опоры, кВт (л. с.).....	$2N_V = 200$ (272)
Суммарный расход на четыре опоры, м <sup>3</sup> /с .....	$4Q_i = 11,2$
Суммарная мощность на четыре опоры, кВт (л. с.) .....	$4N_V = 400$ (544)

**Геометрия БО и параметры потока истечения из ВП.** Точный профиль оболочки с учетом истечения потока [2] показан штрихпунктирной линией на рис. 3, а.

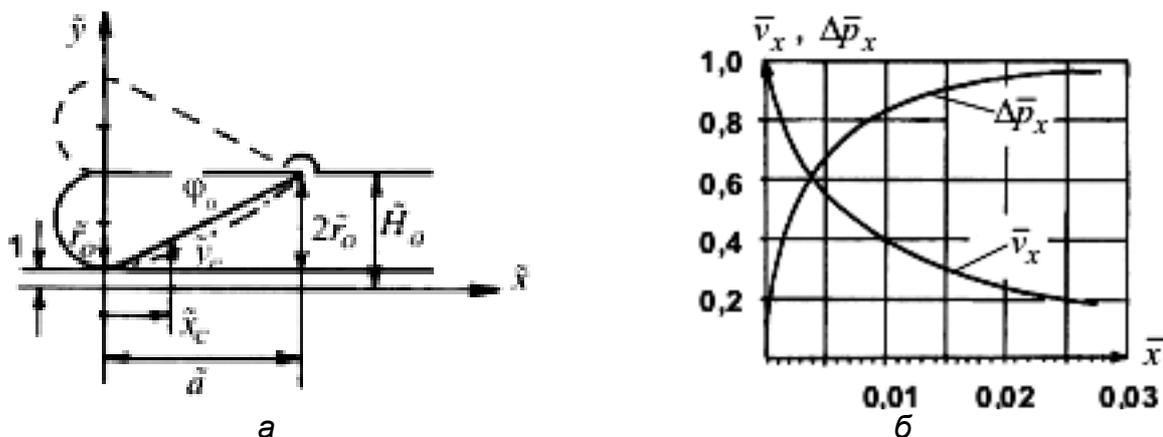


Рис. 3. Профиль оболочки (а) и параметры потока истечения (б)

Здесь для инженерных расчетов контур оболочки в координатах  $\tilde{y} = y/h_0$  и  $\tilde{x} = x/h_0$  на участке истечения заменяем прямой в виде

$$\tilde{y} = 2\bar{r}_0 \cdot \tilde{x} + 1, \quad (1)$$

где  $\bar{r}_0 = r_0/a$ .

Согласно рис. 3 длину гибкого контура оболочки определяют таким образом:

$$l_0 = l_{np} + l_{кр}; \quad \bar{l}_0 = l_0/a = \bar{r}_0 \left( \pi + \frac{2}{\sin \varphi_0} \right); \quad \varphi_0 = \arctg(2\bar{r}_0),$$

где  $l_0$  – общая длина оболочки ( $l_{np}$  – прямолинейный и  $l_{кр}$  – криволинейный участки).

Для  $a = 490$  мм и  $2r_0 = 300$  мм имеем:  $\varphi_0 = 31,47684^\circ$ ;  $\bar{l}_0 = 2,1337$ ;  $\bar{h}_0 = h_0/a = 0,0041$ ;  $\bar{r}_0 = r_0/a = 0,306$ .

Существует активный участок истечения из ВП – сопло истечения с координатами  $\tilde{y}_c$  и  $\tilde{x}_c$  (см. рис. 3, а).

В авторской работе [2] установлено, что параметры потока (относительная скорость истечения  $\bar{v}_x$  и относительное текущее давление  $\Delta\bar{P}_x$ ) выражаются через координату  $\tilde{y} = y/h_0$  следующим образом:

$$\bar{v}_x = \frac{v_x}{v_i} = \frac{1}{\tilde{y}}; \quad \Delta\bar{P}_x = \frac{\Delta P_x}{\Delta P_{II}} = 1 - \frac{1}{\tilde{y}^2}. \quad (2)$$

Координаты сопла  $\tilde{y}_c$  и  $\tilde{x}_c$  определяем по формулам (1) и (2) из условия, что текущее давление  $\Delta P_x$  мало отличается от давления  $\Delta P_{II}$ . Для нашего случая выбираем  $\Delta P_x \approx 0,96\Delta P_{II}$  и получаем:

$$\tilde{y}_c = y_c/h_0 = 5; \quad \tilde{x}_c = x_c/h_0 = 6,536.$$

Координаты  $\tilde{y}$ ,  $\tilde{x}$  и  $\tilde{y}_c$ ,  $\tilde{x}_c$  целесообразно использовать в виде  $\bar{y} = \tilde{y} \cdot \bar{h}_0$ ,  $\bar{x} = \tilde{x} \cdot \bar{h}_0$  и  $\bar{y}_c = \tilde{y}_c \cdot \bar{h}_0$ ,  $\bar{x}_c = \tilde{x}_c \cdot \bar{h}_0$ . Для наших исходных данных имеем  $\bar{y}_c = 5\bar{h}_0 = 0,02$  и  $\bar{x}_c = 6,5\bar{h}_0 = 0,0268$ .

Для построения зависимости давления  $\Delta P_x = f_1(\bar{x}_i)$  и скорости  $\bar{v}_x = f_2(\bar{x}_i)$  под оболочкой в зоне сопла истечения используем формулы (2) для текущих координат в диапазоне  $0,0041 \leq \bar{y}_i \leq 0,02$  и  $0 \leq \bar{x}_i \leq 0,0268$ . Графики таких зависимостей показаны на рис. 3, б. Видно, что давление в зоне сопла истечения резко падает до атмосферного, а скорость, наоборот, резко увеличивается до максимальной. Далее из-за резкого расширения потока скорость также резко уменьшается до нуля.

**Определение зоны ВП с постоянным давлением.** Чтобы определить эту зону, рассмотрим равновесие вертикальных сил для гибкого контура оболочки на участке истечения (рис. 4).

Используем теоретический профиль оболочки. Переменное давление под оболочкой  $\Delta P_x$  заменяем на постоянное  $\Delta P_{II}$ , которое распределено на условном участке  $a_{\text{эф}}$  (см. рис. 4). Здесь через  $T$  обозначено натяжение гибкого элемента. Оно является постоянной величиной  $T = const$  и определяется на внешнем участке оболочки следующим образом:  $T = (P_{II} - P_a) \cdot r_0 = \Delta P_{II} r_0$ . Из условия равновесия вертикальных сил согласно рис. 4 имеем:

$$Y/\Pi_i = \int_0^a (P_x - P_a) dx = \Delta P_{II} a - T \sin \varphi_0 = \Delta P_{II} a (1 - \bar{r}_0 \sin \varphi_0) = \Delta P_{II} a_{\text{эф}};$$

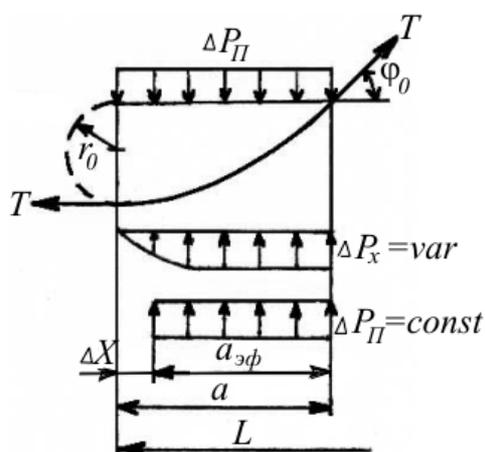


Рис. 4. Схема равновесия вертикальных сил на участке истечения

$$a_{\text{эф}} = a \cdot \bar{a}_{\text{эф}}; \quad \bar{a}_{\text{эф}} = 1 - \bar{r}_0 \sin \varphi_0,$$

где  $Y/\Pi_i$  – погонная подъемная сила от давления на единицу периметра истечения.

Найдем участок с постоянным давлением  $\Delta P_{II}$ , ограниченный длиной  $L_{II} = L - 2\Delta X$  и шириной  $B_{II} = B - 2\Delta X$ . Величина  $\Delta X$  согласно рис. 4 определяется следующим образом:

$$\Delta X = a - a_{\text{эф}} = a \bar{r}_0 \sin \varphi_0;$$

$$\Delta \bar{X} = \Delta X / a = \bar{r}_0 \sin \varphi_0.$$

Для исходных данных имеем

$$\Delta \bar{X} = 0,159843, \quad \Delta X = \Delta \bar{X} \cdot a = 78 \text{ мм.}$$

Поэтому площадь ВП с постоянным давлением  $\Delta P_{II} = const$  равна:

$$S_{II} = L_{II} \cdot B_{II} = 3,6 \text{ м}^2 \quad \text{или} \quad \bar{S}_{II} = S_{II} / S_0 = 0,9,$$

т. е. подтверждено ранее выбранное отношение  $S_{II} / S_0$ .

**Расходно-напорные характеристики проточной части опор на ВП.** Питание двух воздушных подушек осуществляется путем отбора воздуха от внешнего (холодного) контура ТВВД (схема питания показана на рис. 1).

Для нагнетателя, установленного на любом транспортном средстве на ВП, воздушный тракт представляет собой пневматическую сеть. Полные потери давления в сети  $\Delta P_S$  включают в себя потери давления на создание ВП  $\Delta P_{II}$ , местные потери  $\Delta P_M$  (обусловленные изменением величины и направления потока), а также потери давления на трение  $\Delta P_{тр}$ :

$$\Delta P_S = \Delta P_{II} + \Delta P_M + P_{тр}.$$

Потерями  $\Delta P_{тр}$  в нашем варианте можно пренебречь из-за малой протяженности воздуховода.

В рассматриваемой схеме пневмопитания ВП потери давления складываются из потерь при заборе воздуха  $\Delta P_{заб} = \xi_{заб} \rho v_j^2 / 2$ , потерь при повороте потока на  $90^\circ$   $\Delta P_{нов} = \xi_{нов} \rho v_j^2 / 2$ , потерь при внезапном расширении на входе в ВП  $\Delta P_{в.р} = \xi_{в.р} \rho v_j^2 / 2$  и, наконец, потерь при внезапном расширении на выходе из ВП  $\Delta P_{II} = \xi_i \rho v_i^2 / 2$ .

Здесь через  $\xi$  обозначены соответствующие коэффициенты потерь давления, которые согласно справочнику [4] принимают значения:  $\xi_j = \xi_{заб} + \xi_{нов} + \xi_{в.р} = 0,5 + 0,5 + 1 = 2$ , а  $\xi_i = \xi_{в.р} = 1$ . Скорости на входе и выходе из ВП обозначены соответственно через  $v_j$  и  $v_i$  (рис. 1). Используя суммарные потери сети  $\Delta P_S$  и равенство расходов на входе и выходе из ВП  $Q_j = Q_i = Q$ , получаем расходно-напорные характеристики сети воздушного тракта. Характеристики представляют собой параболы, которые вычисляются следующим образом [2, 3]:

$$\begin{aligned} \Delta P_{II} &= c_1 Q_i^2; \\ \Delta P_S &= c_2 Q_i^2; \end{aligned} \quad (3)$$

где:  $c_1 = \rho / 2 f_i^2$ ;  $c_2 = c_1 (1 + 2 / \bar{f}_{ji}^2)$ ;  $\bar{f}_{ji} = f_j / f_i$ .

Из (3) следует, что отношение давлений имеет вид:

$$\Delta \bar{P}_S = \Delta P_S / \Delta P_{II} = 1 + 2 / \bar{f}_{ji}^2. \quad (4)$$

Напомним, что площадь истечения через одну опору составляет  $f_i = 0,0168 \text{ м}^2$ . С помощью в формулы (4) устанавливается связь между перепадами давлений  $\Delta \bar{P}_S$  и отношениями площадей  $\bar{f}_{ji}$ . Задавая ряд давлений

$\Delta \bar{P}_S$ , получаем соответствующие площади  $\bar{f}_{ji}$ , а затем площади на входе в ВП  $f_j = \bar{f}_{ji} \cdot f_i$ , следовательно, и диаметры  $d_j = \sqrt{4f_j/\pi}$ . Результаты расчета сводим в таблицу.

Соотношения давлений сети и ВП к площадям входа и выхода из ВП

$\Delta \bar{P}_S$	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
$\bar{f}_j$	4,47	2,58	2,00	1,69	1,49	1,35
$f_j, \text{м}^2$	0,07513	0,04337	0,03360	0,02840	0,02504	0,02265
$d_j, \text{м}$	0,31	0,24	0,20	0,19	0,18	0,17

Согласно таблице потери давления в сети  $\Delta \bar{P}_S$  зависят от диаметра  $d_j$  на входе в ВП. Причем с уменьшением диаметра  $d_j$  потери давления  $\Delta \bar{P}_S$  растут.

Конструктор должен задать давление  $\Delta \bar{P}_S$  и соответствующий ему диаметр  $d_j$ . В нашем случае выбираем  $\Delta \bar{P}_S = 1,5$ ,  $f_j = 0,0336 \text{ м}^2$  и  $d_j = 0,2 \text{ м}$ . Площадь общего заборника воздуха на две опоры с ВП согласно таблице составляет  $2f_j = 0,0672 \text{ м}^2$ .

Так как винтовентилятор обслуживает две опоры на ВП, то суммарная площадь истечения  $2f_i = 0,0336 \text{ м}^2$ , суммарный расход  $2Q_i = 5,6 \text{ м}^3/\text{с}$  и давление сети (равное давлению винтовентилятора)  $\Delta P_S = \Delta P_V = 1,5 \Delta P_{II} = 25 \text{ кПа}$ .

Рассчитываем коэффициенты

$$c_1 = \rho / 2(2f_i)^2 = 531,5,$$

$$c_2 = c_1 \left(1 + 2/\bar{f}_{ji}^2\right) = 1,5c_1 = 797,25,$$

а расходные характеристики двух ВП и их сети вычисляем по формулам (3):

$$\Delta P_{II} = c_1 Q^2 = 531,5 Q^2;$$

$$\Delta P_S = c_2 Q^2 = 797,25 Q^2;$$

Эти характеристики графически изображены на рис. 5 (поз. 1 и 2).

Расходная характеристика винтовентилятора (поз. 3 на рис. 5) определяется для конкретной установки с учетом забора части потока на создание ВП.

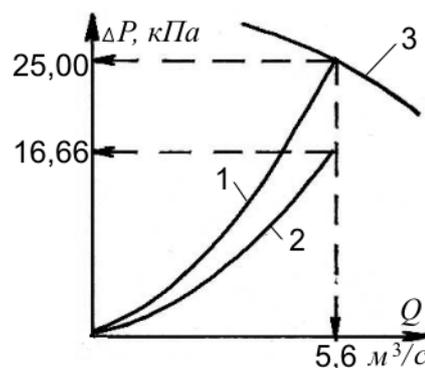


Рис. 5. Расходные характеристики двух опор на ВП:  
1 – расход сети  $\Delta P_S(Q)$ ;  
2 – расход ВП  $\Delta P_{II}(Q)$ ;  
3 – расход винтовентилятора  $\Delta P_V(Q)$

### Движение аэропоезда на ВП. Расчет сопротивления и тяги

Полное сопротивление аэропоезда на ВП при движении над эстакадой представляет собой сумму основных составляющих [3, 5]:

$$X = X_A + X_{II} + \Delta X_A,$$

где  $X_A = q \cdot c_x \cdot S_{мид}$  – аэродинамическое сопротивление;

$X_{II} = \rho Q V$  – импульсное сопротивление, обусловленное ВП;

$\Delta X_A \approx 0,05 X_A$  – дополнительное аэродинамическое сопротивление, обусловленное ограниченным пространством туннеля.

Здесь:  $c_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления обтекания аппарата определяют по продувкам моделей (в нашем случае можно принять  $c_x \approx 0,15 \dots 0,35$ );  $V$  – скорость движения аппарата, м/с;  $S_{мид}$  – площадь наибольшего поперечного сечения (миделя) аппарата, м<sup>2</sup>;  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;  $Q$  – суммарный расход воздуха, прокачиваемого нагнетателем через все опоры на ВП, м<sup>3</sup>/с;  $q = \rho V^2 / 2$  – скоростной напор при движении аппарата.

Для расчета сопротивления движению используем следующие исходные данные: масса аппарата  $m_0 = 20$  т;  $c_x = 0,18$ ;  $S_{мид} = 15$  м<sup>2</sup>;  $4Q_{II} = 11,2$  м<sup>3</sup>/с; крейсерская скорость  $V_{кр} = 166,66$  м/с = 600 км/ч.

С учетом принятых значений имеем:

$$X_A = 0,18 \cdot 15q = 2,7q; X_{II} = 13,44V; \Delta X_A = 0,05 X_A.$$

Для  $V_{кр}$  суммарное сопротивление составит  $X = 51,45$  кН.

Двигатели должны обеспечить тягу, равную

$$T_{V_{кр}} = X_{max} + X_{зан} + T_{эkv}, \quad (5)$$

где  $X_{max} = 51,45$  кН – максимальное сопротивление на этой скорости;

$X_{зан} = 1,3$  кН – принятый запас по сопротивлению;

$T_{эkv} = 1,5$  кН – дополнительная тяга, обусловленная затратами на создание

ВП (получается из условия  $N_{II} = \frac{T_{эkv} V_{кр}}{\eta} 10^{-3} = 400$  кВт).

Согласно формуле (5) на скорости  $V_{кр}$  получаем значение суммарной тяги, равное  $T_{V_{кр}} = 54,25$  кН. Взлетная тяга двигателей [3] составляет  $T_S = 0,3m_0g = 60$  кН.

### Расчетные технические данные предлагаемого аэропоезда

Взлетная масса, т.....	20
Масса полезной нагрузки (80 пассажиров), т.....	8
Подъемно-тяговые силовые установки .....	2хТВВД
Взлетная тяга двигателей, кН .....	2х30
Крейсерская скорость, км/ч .....	600
Дальность при одной заправке, км .....	3800
Давление в воздушных подушках, кПа .....	16,66
Число ВП, шт. ....	4
Расход воздуха через воздушные подушки, м <sup>3</sup> /с. ....	11,2
Мощность на создание ВП, кВт.....	2х200
Габаритные размеры опоры на ВП, м.....	1,4х2,8
Высота подъема корпуса за счет ВП с БО, м.....	0,3

### Выводы

Предложена методика расчета и определены технические параметры аэропоезда на ВП, движущегося над эстакадой с арочным укрытием. К достоинствам такого транспорта можно отнести:

- достижение больших наземных скоростей, соизмеримых с самолетными (500...600 км/ч);
- независимость работы от метеоусловий и круглогодичную эксплуатацию;
- простоту и удешевление конструкции по сравнению с системой «Hyperloop» (Elon Musk).

Указанный транспорт целесообразно использовать на трассах с большими грузопассажирскими потоками и большими расстояниями [5].

### Список литературы

1. Elon Musk Hyperloop [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tjournal.ru/paper/hyperloop>.
2. Люшнин, В. П. Оборудование и транспорт на воздушной подушке с баллонным ограждением [Текст] / В. П. Люшнин, В. Е. Гайдачук, Л. А. Мальков. – Х. : ФЛП Лысенко И. Б., 2012. – 230 с.
3. Люшнин, В. П. Эстакадный и напольный транспорт на воздушной подушке [Текст] / В. П. Люшнин, Л. А. Мальков. – Х. : ФЛП Лысенко И. Б., 2015. – 230 с.
4. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И. Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1975. – 559 с.
5. Сайт: Методики расчета транспорта на воздушной подушке с баллонным ограждением [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://Lesham15.wix.com>.

Поступила в редакцию 19.09.2016

## **Високошвидкісний естакадний аеропоїзд на повітряній подушці**

Наведено відомості про естакадний і трубопровідний транспорт, що працює на основі принципу повітряної подушки. З урахуванням позитивних якості цих двох напрямків, запропоновано аеродинамічне компонування аеропоїзда на повітряній подушці, що рухається над естакадою з арковим укриттям (тунелем). Мета – досягнення великих наземних швидкостей, зменшення енергетичних витрат і забезпечення експлуатації за будь-яких метеоумов навколишнього середовища. Наведено методику розрахунку параметрів повітряної подушки з балонною огорожею і енергетичних витрат на рух аеропоїзду. Подано порівняння витрат на тягу і на підйом апарата. Розраховано параметри для конкретного прикладу.

**Ключові слова:** аеропоїзд, повітряна подушка, балонна огорожа, естакада, методика розрахунку, енергетичні витрати, велика швидкість, всепогодність, траса.

## **High-Speed Aerotrain on Hovercraft over Skyway**

Data on the trestle and pipeline transport, operating on the principle of the airbag. By combining the positive qualities of these two directions, offered aerodynamic design aerotrain hovercraft moving over skyway arched shelter (the tunnel). The goal - to achieve large ground speed, reducing energy costs and ensure operation under any weather environment. The methodology of calculating the parameters of the airbag with balloon fencing and energy costs on the motion aerotrain. A comparison of costs for traction and lifting apparatus. The parameters for a specific example.

**Keywords:** aerotrain, airbag, balloon fencing, loading platform, method of calculation, the energy consumption, high speed, all-weather, the track.

### **Сведения об авторах:**

**Александр Григорьевич Гребеников** – д-р техн. наук, зав. каф. 103 «Проектирования самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

**Виктор Павлович Люшнин** – ст. науч. сотр., каф. 401 «Конструкции и проектирования ракетно-космической техники», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

**Татьяна Борисовна Богачева** – ст. науч. сотр., Объединённое студенческое конструкторское бюро, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

**Леонид Анатольевич Мальков** – ст. науч. сотр., каф. 401 «Конструкции и проектирования ракетно-космической техники», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.