

doi: 10.32620/oikit.2018.81.04

УДК 629.4.016.46-182.31

А. Г. Гребеников, В. П. Люшнин,  
Т. Б. Богачева, Л. А. Мальков

## **Скоростной эстакадно - трубопроводный контейнеровоз на воздушной подушке**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»*

В современном мире быстрая доставка грузов и пассажиров между городами и странами является актуальной задачей. Предложена как альтернатива вакуумной системе Hyperloop «атмосферная» транспортная система в виде аппарата на воздушной подушке, движущегося со скоростью 500 км/ч над эстакадой с арочным укрытием. Конструкция аппарата упрощена и исключены риски, связанные с разгерметизацией в вакуумной среде. Конструктивно аппарат выполнен как в грузовом варианте для быстрой доставки морских контейнеров, так и в пассажирском. Предложенный вид транспорт является экологичным и не зависящим от метеоусловий окружающей среды. Изложены методики, которые позволяют определить характеристики воздушных подушек, параметры движения аппарата по криволинейной трассе, а также тяговые и энергетические показатели. Расчеты выполнены на конкретном примере.

**Ключевые слова:** транспорт, контейнер, груз, пассажиры, доставка, скорость, воздушная подушка, эстакада, методики расчета.

### **Введение**

В современной производственной сфере активно используют быструю доставку грузов (товаров) в контейнерах. Традиционными видами перевозок контейнеров являются морские, автомобильные, железнодорожные и авиационные. Каждый из них обладает как достоинствами, так и недостатками.

К нетрадиционным видам перевозок относится скоростной бесконтактный транспорт. Его разделяют на магнитолевитационные (магнитный подвес) и воздушнолевитационные (воздушный подвес) транспортные средства. Магнитолевитационный транспорт используют преимущественно для движения над открытой эстакадой для перевозки пассажиров.

Исследований, посвященных разработке грузовых систем для транспортировки контейнеров, намного меньше. Наибольшие достижения в этом направлении имеют Лоуренсовская ливерморская национальная лаборатория и фирма «Дженерал Атомикс» в США. Известны теоретические исследования в России, проводимые специалистами Петербургского университета путей сообщения. Однако во всех этих случаях системы магнитной подвески являются очень дорогими и слабозащищенными от метеоусловий окружающей среды.

Разновидностью магнитолевитационного транспорта является система Hyperloop, предложенная бизнесменом - новатором Илоном Маском [1]. Концепция такого вида транспорта заключается в том, что герметичные капсулы на магнитной подвеске летят внутри трубы, из которой откачен воздух до так называемого «форвакуума». Давление составляет примерно 1/1000 от атмосферного, а скорость может составлять около 1200 км/ч. В качестве движителя используют линейный синхронный двигатель (ЛСД). Такая система предназначена в основном для перевозки порядка 35 пассажиров в капсуле или небольших грузов. Система опасна своей разгерметизацией.

Некоторые фирмы, занимающиеся разработкой системы Hyperloop, предлагают использовать ее для быстрой доставки морских контейнеров. В этом случае потребуется стальная труба диаметром более 3,5 метра, причем на нее будет действовать очень большая нагрузка от перепада давления в 1 атмосферу. Поэтому потребуются стальные трубы с толщиной стенок порядка 30 мм. Это ведет к увеличению металлоемкости и удорожанию системы.

На практике трасса движения может быть не только прямолинейной, но и криволинейной. На таких участках на транспортное средство будут действовать очень большие центробежные силы. Чтобы их избежать, необходимо очень большую скорость (1200 км/ч) сначала понижать до значений порядка 100 км/ч, а потом увеличивать.

Кроме того, для подвески транспортного средства разработчики Hyperloop планируют использовать пассивную магнитную левитацию, для чего необходимо либо обладать такой технологией, либо покупать лицензию на ее применение.

*Цель работы* – предложить менее скоростной ( $V \approx 500$  км/ч) по сравнению с системой Hyperloop бесконтактный транспорт на воздушной подушке (ВП), но который гораздо проще, безопаснее и дешевле. Его основное назначение – быстрая доставка контейнеров. Ниже остановимся на грузовом варианте, который легко трансформируется в пассажирский.

### Предлагаемая транспортная система на ВП

Учитывая изложенное выше, считаем целесообразным ограничиться скоростью движения  $V \approx 500$  км/ч и не использовать вакуум. Предлагаемая транспортная система в грузовом варианте состоит из контейнера 1 на воздушной подушке (ВП), который движется над эстакадой 2 с арочным укрытием 3 (рис. 1).

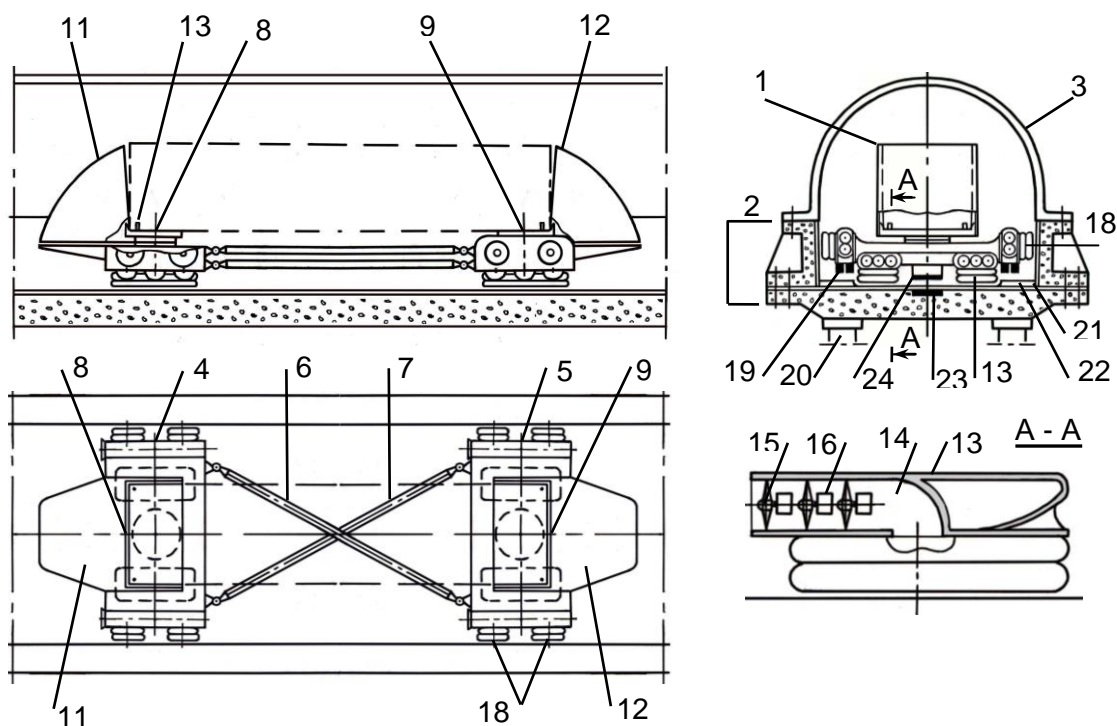


Рис. 1. Предлагаемая грузовая транспортная система на ВП  
(пунктирной линией показан контур 40 - футового контейнера)

Контейнеровоз 1 состоит из двух платформ на воздушной подушке (ПВП) (носовой 4 и кормовой 5), соединенных между собой жесткими тягами 6 и 7. В свою очередь, каждая платформа снабжена поворотными относительно вертикальной оси силовыми элементами 8 и 9, на которые устанавливаются и фиксируют 40 - футовые контейнеры. Фиксаторы выполнены в виде вертикальных штырей 10. ПВП соединены с силовыми элементами таким образом, чтобы свести к минимуму силы трения между ними при поворотах. Жесткие тяги 6 и 7 обеспечивают такое расстояние между платформами и силовыми элементами, которое необходимо для установки конкретного типа контейнера. Расположение тяг крестообразное при виде сверху и на разных уровнях по высоте (рис. 1). На силовых элементах 8 и 9 соответственно закреплены носовой 11 и кормовой 12 обтекатели, уменьшающие силы сопротивления контейнеровоза 1 при больших скоростях движения.

Платформы на ВП выполнены в виде прямоугольных центропланов с вертикальными площадками по бортам. Под ними установлены четыре подъемных модуля на воздушной подушке 13, имеющие прямоугольную форму при виде сверху. Каждый модуль на ВП снабжен несколькими входными нагнетательными каналами 14, направленными навстречу набегающему потоку. На рис. 1 в качестве примера их показано три. В свою очередь, в каждом входном канале установлено несколько нагнетателей (вентиляторов) 15 с приводом от электродвигателей 16. Все электронагнетатели имеют одинаковую конструкцию и мощность. В нашем примере размещено по три штуки в каждом канале.

В общем случае число входных каналов выбирают из условия обеспечения необходимого расхода воздуха  $Q$  через воздушную подушку, а число нагнетателей – из условия обеспечения потребного избыточного давления  $\Delta P_{II}$  в ВП. Нагнетательный поток поступает в зону ВП, ограниченную многоярусным надувным ограждением 17 баллонного типа (БО). На рис. 1 показано двухъярусное ограждение. Конструкция и принцип их работы изложены в авторских работах [2, 3].

Помимо подъемных ВП на всех вертикальных законцовках платформ установлены направляющие ВП (по две круглые ВП на каждую законцовку, поз. 18 на рис.1). Конструктивно они выполнены подобно подъемным ВП. На законцовках ПВП 4 и 5 снизу также закреплено колесное шасси 19, удерживающее вес конструкции при отключенных подъемных ВП 13. Шасси используется при движении на малой скорости по криволинейной трассе и на остановках. Колеса шасси могут быть выполнены либо в виде дутиков, либо с металлическими ободами, покрытыми эластичным материалом.

Эстакада 2 выполнена в виде горизонтальных и боковых вертикальных блоков. Эстакада опирается на столбы 20 таким образом, чтобы обеспечивать горизонтальный тракт на прямолинейных участках трассы. Горизонтальные и вертикальные блоки эстакады в зоне расположения воздушных подушек сверху покрыты материалом с высокой адгезией, например, из высокомолекулярного полиэтилена 21. В этом случае практически отсутствует износ баллонных ограждений 17, а истечение из ВП сводится к зазору менее 1 мм. Само же гибкое надувное ограждение ВП поднимает корпус платформы с грузом на высоту порядка 300 мм. Зоны контакта колесного шасси представляют собой дорожки 22, закрепленные на эстакаде только на криволинейной трассе и на станциях остановок.

В качестве движителя транспортного средства используется линейный синхронный двигатель (ЛСД). При этом первичные обмотки 23 расположены на эстакаде, а вторичные 24 – на транспортном средстве (под платформами 4 и 5). Большая часть энергии от ЛСД идет на создание тяги для аппарата, и лишь небольшая – на питание приводов нагнетателей.

Режимы движения транспортного средства (разгон, торможение) осуществляются автоматической секционной подачей электрической энергии на первичную обмотку 23 ЛСД путем регулирования частоты питающего тока. Вследствие этого обеспечивается неограниченное по времени беспилотное движение транспортных средств с любым заданным интервалом по времени.

Арочное укрытие 3 обеспечивает круглогодичную эксплуатацию предлагаемого транспорта вне зависимости от метеоусловий окружающей среды. Причем арочное укрытие представляет собой огромную поверхность для закрепления на ней солнечных панелей в качестве источника энергии.

Основное назначение данного транспортного средства – быстрая доставка грузов, в данном случае 40 - футовых или двух 20 - футовых контейнеров.

*Кроме того, грузовое транспортное средство легко трансформируется и в пассажирский вариант.* Достаточно снять обтекатели 11, 12 и закрепить на силовых элементах 8 и 9 вновь сделанный пассажирский фюзеляж или использовать фюзеляж самолета, отслуживший свой ресурс в воздухе. Пассажировместимость в рассматриваемом примере будет составлять порядка 250 человек.

### Движение по криволинейной трассе

На практике без криволинейной трассы не обойтись. Ее преодоление достигается путем снижения скорости движения, плавного изменения радиуса переходной кривой  $R$ , а также угла наклона трассы  $\alpha$  (рис. 2).

Благодаря направляющим ВП и поворотным ПВП контейнеровозу удается преодолевать малые радиусы  $R$  криволинейной трассы при малых скоростях движения ( $V \leq 100 \text{ км/ч}$ ).

Согласно рис.3 на транспортное средство действует сила веса  $G = m_o g$ , суммарная подъемная сила от ВП  $Y_{II}$ , а также центробежная сила  $Z$ . Ее определяют по формуле

$$Z = m_o V^2 / R, \quad (1)$$

где  $m_o$  – масса аппарата, кг;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $V$  – допустимая скорость движения по криволинейной трассе, м/с;  $R$  – переменный радиус переходной кривой, м. Радиус изменяется от  $R = \infty$  до  $R = \min$ . Проектируя силы на оси  $oz$  и  $oy$  (рис.3), получаем:

$$Z \cdot \cos \alpha - m_o g \cdot \sin \alpha = m_o \cdot a_{\text{нп}}, \quad Y_{II} / m_o g = \cos \alpha + \sin^2 \alpha / \cos \alpha, \quad (2)$$

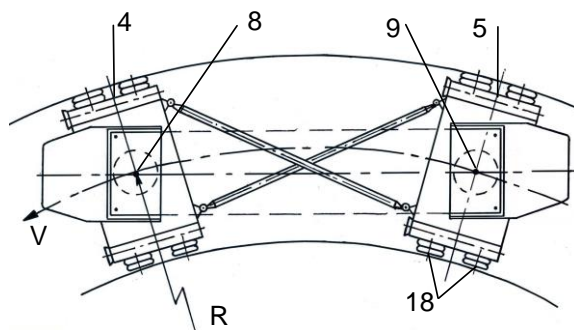


Рис.2. Положение контейнеровоза на криволинейной трассе

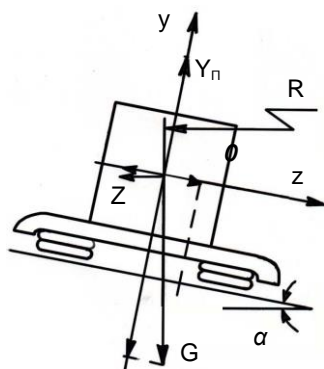


Рис. 3. Положение аппарата на наклонной трассе

где  $a_{\text{нп}}$  – непогашенное поперечное ускорение,  $\text{м/с}^2$ . В железнодорожном грузовом транспорте  $a_{\text{нп}}$  нормируется ( $a_{\text{нп}} \approx 0,3 \text{ м/с}^2$ ).

В нашем случае имеем дело с беспилотным грузовым транспортом. Поэтому допускаем, что составляющая веса по оси  $oz$  уравнивает составляющую центробежной силы по ней.

$$\text{Следовательно, } Z \cdot \cos \alpha - m_o g \cdot \sin \alpha = 0.$$

Исходя из этого получим

$$R_{\min} = \frac{V^2}{g \cdot \tan \alpha}. \quad (3)$$

С помощью уравнения (3) для постоянных скоростей движения  $V = \text{const}$  устанавливается связь между допустимыми радиусами  $R$  и соответствующими им углами наклона трассы  $\alpha$ . Графические зависимости для постоянных скоростей движения ( $V = 100, 200, 300$  и  $400 \text{ км/ч}$ ) показаны на рис. 4. На графиках виден диапазон изменения радиусов  $R_{\min}$  и углов  $\alpha$  для больших скоростей движения  $V = \text{const}$ .

Он составляет порядка 5, 10 и более километров. Для малых же скоростей  $V \leq 100 \text{ км/ч}$  и углов  $12^\circ < \alpha < 16^\circ$  радиусы уменьшаются до значений порядка  $R_{\min} \approx 350 \text{ м}$ . Кроме того, представляет интерес изменение отношения суммарной подъемной силы от воздушных подушек к силе веса  $Y_n / m_o g$ . Согласно формуле (2) эта относительная величина зависит только от углов  $\alpha$ . Расчеты показывают, что для диапазона углов  $2^\circ < \alpha < 16^\circ$  это отношение примерно равно единице ( $Y_n / m_o g \approx 1$ ).

Отметим, что направляющие ВП играют роль страховочных элементов на случай, когда не поддерживается постоянная скорость движения на криволинейной трассе.

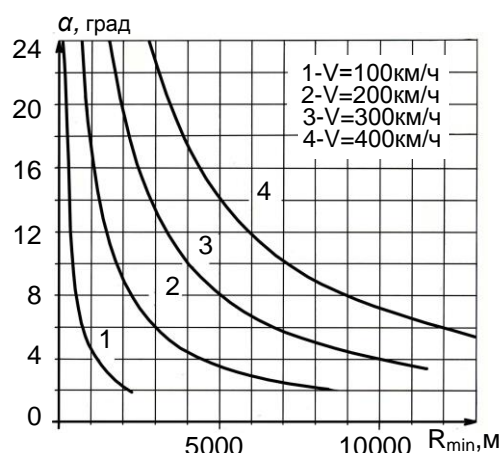


Рис. 4. Связь между допустимыми радиусами  $R_{\min}$  и углами наклона трассы  $\alpha$  при постоянной скорости движения

### Расчет параметров воздушных подушек контейнеровоза

Остановимся на расчете подъемных ВП. Число входных каналов (три в каждую опору на ВП) обеспечивает необходимый расход  $Q$ , а число нагнетателей (три в каждом канале) создают потребное давление  $\Delta P_n$  в ВП.

Принимаем следующие исходные данные для расчета.

1. Масса аппарата с контейнером.....  $m_o = 40 \text{ т}$ .
2. Крейсерская скорость .....  $V_{\text{кр}} = 500 \text{ км/ч}$  ( $140 \text{ м/с}$ ).
3. Нагрузка на одну опору на ВП.....  $m_1 = m_o / 4 = 10 \text{ т}$ .

4. Избыточное рабочее давление в ВП.....  $\Delta P_{II} = 25$  кПа.
5. Зазор истечения из ВП.....  $h_o = 1$  мм.
6. ВП имеет прямоугольную форму в плане с удлинением  
 $\lambda = L/B = 2$  ( $L$ ,  $B$  - длина и ширина зоны ВП).

#### **Параметры одной опоры на ВП**

- Площадь ВП, м<sup>2</sup>.....  $S_{II} = m_1 g / \Delta P_{II} = 4$ .
- Ширина ВП, м.....  $B = \sqrt{S_{II} / \lambda} = 1,4$ .
- Длина ВП, м.....  $L = \lambda \cdot B = 2,8$ .
- Высота подъема за счет надувного ограждения, мм....  $H_o = 300$ .
- Периметр истечения из ВП, м.....  $\Pi_i = 6B = 8,4$ .
- Зазор истечения из ВП, мм.....  $h_o = 1,0$ .
- Площадь истечения из ВП, м<sup>2</sup>.....  $f_i = \Pi_i \cdot h_o \cdot 10^{-3} = 0,0084$ .
- Максимальная скорость истечения из ВП, м/с.....  $v_i = \sqrt{2\Delta P_{II} / \rho} = 200$ .
- Объемный расход воздуха через одну ВП, м<sup>3</sup>/с.....  $Q_1 = f_i \cdot v_i = 1,7$ .
- Суммарное давление, развиваемое тремя  
нагнетателями на входе в ВП, кПа.....  $\Delta P_{v1} = 1,25 \cdot \Delta P_{II} = 31,25$ .
- Суммарная мощность 9 нагнетателей  
на одну ВП, кВт (л.с.).....  $N_{v1} = \Delta P_{v1} \cdot Q_1 \cdot 10^{-3} / \eta = 74,4$  (100).

#### **Параметры одного нагнетателя**

- Расход, м<sup>3</sup>/с .....  $(Q_1)_1 = Q_1 / 3 = 0,567$ .
- Давление, кПа.....  $(\Delta P_{v1})_1 = \Delta P_{v1} / 3 = 10,4$ .
- Мощность привода нагнетателя, кВт (л.с.) .....  $(N_{v1})_1 = \Delta P_{v1} (Q_1)_1 \cdot 10^{-3} / \eta = 8,3$  (11,2).

#### **Суммарные параметры для всего аппарата (4 опоры на ВП)**

- Суммарный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с.....  $Q_4 = 4 \cdot Q_1 = 6,8$ .
- Суммарная мощность нагнетателей, кВт (л.с.).....  $N_{v4} = 4 \cdot N_{v1} = 297,6$  (400).

#### **Удельные показатели контейнеровоза**

- Удельный расход воздуха на 1 тонну груза, м<sup>3</sup>/с·т .....  $Q_4 / m_o = 0,17$ .
- Удельный расход воздуха на единицу периметра ВП, м<sup>3</sup>/с·м.....  $Q_4 / 4\Pi_i = 0,2$ .
- Удельная мощность на 1 тонну груза, кВт/т (л.с./т) .....  $N_{v4} / m_o = 7,44$  (10).

Направляющие ВП на основной прямолинейной трассе ввиду отсутствия нагрузок работают на пониженной мощности. Она составляет всего 0,1 ... 0,15 от затрат на подъемные ВП. Поэтому расчеты их параметров здесь не приводим.

#### **Движение контейнеровоза на ВП. Расчет сопротивления и тяги**

Полное сопротивление  $X$  определяем так же, как и в авторской работе [4]. Оно представляет сумму следующих составляющих:

$$X = X_A + X_H + \Delta X_A; \quad X(V) = k_1 V + k_2 V^2, \quad (4)$$

где  $X_A$  – аэродинамическое сопротивление,  $X_H$  – импульсное сопротивление от ВП,  $\Delta X_A = k_3 X_A$  – дополнительное аэродинамическое сопротивление, обусловленное ограниченным пространством внутри арочного укрытия.

Точное значение сопротивления можно получить путем продувок моделей в аэродинамической трубе. Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  выражаются через плотность воздуха  $\rho$ , коэффициент сопротивления  $C_x$ , площадь миделя аппарата  $S_M$  и расход воздуха  $Q$  через ВП. Для приближенных расчетов, если принять  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_x \approx 0,5$ ,  $Q = 6,8 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $k_3 = 0,1$ , то зависимость сопротивления от скорости движения примет вид параболы (рис. 5):

$$X(V) = 4 \cdot V \cdot (2 + V). \quad (5)$$

Максимальное сопротивление при крейсерской скорости  $V_{KP} = 140 \text{ м/с}$  (500 км/ч) составляет  $X_{\max} = 80 \text{ кН}$ . В целях экономии затрат на тягу от ЛСД предлагаем профиль трассы принять в виде спуска с горки, горизонтального участка, а затем в конце – подъем на горку для торможения контейнеровоза.

### Расчет тяговых характеристик

**Участок спуска.** Потенциальная энергия на вершине горки  $E_{II} = m_o g \cdot H_C$  переходит в кинетическую энергию на конце спуска  $E_K = 0,5 m_o \cdot V_C^2$ . Энергия на преодоление воздушного сопротивления на этом участке пренебрежимо мала  $E_x \approx 0$ . Поэтому из условия равенства энергий  $E_{II} = E_K$  получим скорость в конце спуска  $V_C = \sqrt{2gH_C}$ .

Принимая для нашего примера  $H_C = 20 \text{ м}$ ,  $\alpha = 10^\circ$  и используя формулы ускоренного движения, получим: скорость  $V_C = 20 \text{ м/с}$ ; путь  $S_C = H_C / \sin \alpha = 115 \text{ м}$ ; ускорение  $a = V_C^2 / 2S_C = 1,74 \text{ м/с}^2$ ; время спуска  $t_C = V_C / a = 11,5 \text{ с}$ .

**Режим разгона от  $V_C = 20 \text{ м/с}$  до  $V_{KP} = 140 \text{ м/с}$ .**

Для определения времени  $t$  и пути  $S$  разгона используем уравнение движения аппарата в виде  $m_o \frac{dV}{dt} = T - X(V) = \Delta T(V)$ , где тягу  $T$  принимаем постоянной величиной  $T = \text{const}$ . Получаем следующие формулы:

$$t = m_o \int_{V_C}^{V_{KP}} \frac{dV}{\Delta T(V)} \quad \text{и} \quad S = m_o \int_{V_C}^{V_{KP}} \frac{V \cdot dV}{\Delta T(V)}. \quad (6)$$

Тяга  $T$  состоит из двух составляющих, а именно:

$$T = T_K + T_{\text{ЛСД}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{ЛСД}}$  – тяга, создаваемая ЛСД;  $T_K$  – тяга, обусловленная кинетической энергией аппарата в конце спуска – начале разгона. Ее определяют из условия равенства энергий  $E_K = 0,5 m_o V_C^2 = T_K V_C t_C$ . Получим

$$T_K = \frac{m_o V_C}{2t_C}. \quad (8)$$

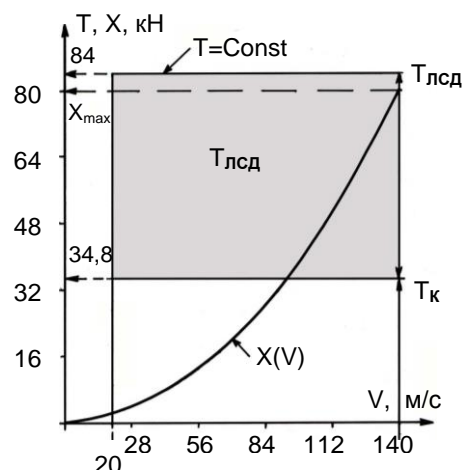


Рис. 5. Зависимости сопротивления и тяги от скорости



Для нашего примера имеем  $T_K = 34,8$  кН. Общую тягу  $T$  назначаем из условия  $T \geq X_{\max}$ . Принимаем  $T = 84$  кН. В этом случае исходя из (7) линейный синхронный двигатель (ЛСД) должен обеспечить тягу  $T_{\text{ЛСД}} = T - T_K = 49,2$  кН (рис.5). По результатам численного интегрирования формул (6) для  $T = 84$  кН имеем следующие параметры разгона на горизонтальном участке пути – время разгона  $t_p = 213$  с (3,55мин), путь разгона  $S_p = 25175$  м (25,175 км).

### Энергетические показатели предлагаемого транспорта

Ранее было получено значение мощности, идущей на создание воздушных подушек всего аппарата  $N_{\Pi} \approx 300$  кВт (400 л.с.). Мощность ЛСД, идущая на создание тяги, определяем по формуле  $N_{\text{ЛСД}} = T_{\text{ЛСД}} \cdot V_{\text{кр}} = 49,2 \cdot 140 = 6900$  кВт. Таким образом, суммарная мощность составляет  $N_{\Sigma} = N_{\Pi} + N_T = 7200$  кВт.

Эффективность транспортных средств оценивают с помощью различных показателей. В работе [5] предлагается критерий удельных энергозатрат на перевозку единицы массы груза на единицу расстояния. Этот критерий обозначают как  $Y_{\text{пэ}}$  - удельный расход энергии.

$$Y_{\text{пэ}} = \frac{N_{\Sigma}}{m_o \cdot V} \left( \frac{\text{кДж}}{\text{т} \cdot \text{км}} \right), \quad (9)$$

где  $N_{\Sigma}$  – суммарная мощность (1 кВт = кДж/с);  $m_o$  – масса аппарата с грузом, т;  $V$  – скорость, км/с. Для нашего примера имеем

$$Y_{\text{пэ}} = \frac{7200}{40 \cdot 0,14} = 1286 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{т} \cdot \text{км}} \right).$$

Согласно [5] другой энергетический показатель – совокупные энергозатраты на перемещение тонны груза из точки отправки в точку прибытия

$$P = Y_{\text{пэ}} \cdot S \left( \frac{\text{кДж}}{\text{т}} \right), \quad (10)$$

где  $S$  – расстояние в километрах. В нашем примере принимаем  $S = 500$  км. Имеем  $P = 1286 \cdot 500 = 6,43 \cdot 10^5$  кДж/т, а время доставки  $t = S/V = 1\text{ч}$ . Хотя энергетические затраты предлагаемого транспорта выше, чем у автомобильного, железнодорожного и морского видов транспорта, но имеем явный выигрыш по времени доставки. Можем отметить, что для рассматриваемого нами случая автомобильные доставки составили бы 6,5 часа, железнодорожным транспортом – 10 часов, а морским – 25 часов.

### Выводы

1. Предложена скоростная наземная транспортная система с использованием воздушных подушек для быстрой доставки грузов (товаров) в контейнерах. Известно, что время доставки товара существенно удорожает его конечную стоимость [5]. Она может в десятки раз превышать его оптовые закупочные цены. В предлагаемой транспортной системе время доставки грузов (товаров) уменьшается в разы по сравнению с традиционной доставкой. Это увеличивает товарооборот и приближает цену товара к закупочной.



2. Система является в некоторой степени альтернативой системе Hyperloop, которая использует вакуум. Здесь отдано предпочтение меньшей скорости (500 км/ч вместо 1200 км/ч) в целях упрощения конструкции аппарата и исключения рисков, связанных с разгерметизацией в вакуумной среде.

3. Изложены методики расчета, которые позволяют определить характеристики воздушных подушек, параметры движения аппарата по криволинейной трассе, а также тяговые и энергетические показатели. Расчеты выполнены на конкретном примере.

4. Предлагаемый транспорт – беспилотный, экологичный, а режим эксплуатации круглогодичный независимо от метеоусловий окружающей среды.

5. Возможно использование транспорта как в грузовом, так и в пассажирском вариантах.

Предлагаемый транспорт целесообразно эксплуатировать на трассах с большими грузопассажирскими потоками и большими расстояниями.

### **Список литературы**

1. Elon Musk Hyperloop (электронный ресурс). Режим доступа: <http://dgjournal.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. Скоростной эстакадно - трубопроводный аэропоезд на воздушной подушке (Текст) / А. Г. Гребеников, В. П. Люшнин, Т. Б. Богачева, Л. А. Мальков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм.ун-т, «ХАИ», 2017. – Вып. 77. – С.19 – 28.

5. Терентьев, Ю.А. Скоростной бесконтактный транспорт ЕТЗ (электронный ресурс). Режим доступа:

[www.nonlin.ru/files/sem\\_presentations/20160517\\_TerentqevYuA.pdf](http://www.nonlin.ru/files/sem_presentations/20160517_TerentqevYuA.pdf)

Поступила в редакцию 27.09.2018

### **Швидкісний естакадно - трубопровідний контейнеровоз на повітряній подушці**

У сучасному світі швидка доставка вантажів і пасажирів між містами та країнами є актуальним завданням. Запропоновано як альтернатива вакуумній системі Hyperloop «атмосферна» транспортна система у вигляді апарата на повітряній подушці, що рухається зі швидкістю 500 км/год над естакадою з ародним укриттям. Конструкцію апарата спрощено і виключено ризики, пов'язані з розгерметизацією у вакуумному середовищі. Конструктивно апарат виконаний як у вантажному варіанті для швидкої доставки морських контейнерів, так і в пасажирському варіанті. Запропонований від транспорту є екологічним і не залежним від метеоумов навколишнього середовища. Викладено методики, які

дозволяють визначити характеристики повітряних подушок, параметри руху апарата по криволінійній трасі, а також тягові і енергетичні показники. Розрахунки виконані на конкретному прикладі.

**Ключові слова:** транспорт, контейнер, вантаж, пасажери, доставка, швидкість, повітряна подушка, естакада, методики розрахунку.

## **High-speed Hovercraft Piping System for Shipping Containers**

In the modern world, the task of rapid delivery of goods and passengers between cities and countries is an urgent task. The "atmospheric" transport system is proposed as an alternative to the Hyperloop vacuum system in the form of an air cushion vehicle moving at a speed of 500 km / h over an overpass with an arch cover. Structurally, the device is designed as a cargo option for the rapid delivery of sea containers, and in the passenger version. The design of the device is simplified, and the risks associated with depressurization in a vacuum environment are excluded. The proposed transport is environmentally friendly and not dependent on the weather conditions of the environment. Methods are described that allow to determine the characteristics of air cushions, the parameters of the vehicle's movement along a curved path, as well as traction and energy indicators. Calculations are made on a concrete example.

**Key words:** transport, container, cargo, passengers, delivery, speed, air cushion, trestle, calculation methods.

### **Сведения об авторах:**

**Александр Григорьевич Гребеников** – д-р техн. наук, зав. каф. 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина. e-mail: [agrebenikov@ukr.net](mailto:agrebenikov@ukr.net)

**Виктор Павлович Люшнин** – ст. науч. сотр., каф. 401 «Конструкция и проектирование ракетной техники», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина. e-mail: [graflvp@gmail.com](mailto:graflvp@gmail.com)

**Татьяна Борисовна Богачева** – инженер 1 категории, каф. 107, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина. e-mail: [t.bohacheva@khai.edu](mailto:t.bohacheva@khai.edu)

**Леонид Анатольевич Мальков** – ст. науч. сотр., каф. 401 «Конструкция и проектирование ракетной техники», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина. e-mail: [lesham1955@gmail.com](mailto:lesham1955@gmail.com)