

ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Трубопроводный транспорт - пневматический и непневматический - играет большую роль в развитии народного хозяйства страны.

Предложены новые конструктивные схемы трубопроводных транспортных средств на воздушной подушке (ВП), которые позволяют увеличить скорость движения, уменьшить сосредоточенные нагрузки на ходовую часть и путепровод, увеличить производительность. При этом обеспечивается экологическая чистота и независимость эксплуатации от погодных условий.

Объектом исследования являются транспортные средства, движущиеся в трубопроводе под действием перепада давления воздушного потока или от автономного двигателя с полным или частичным поддержанием при помощи ВП (рис.1).

Цель исследования - разработка методики расчета, определение энергетических затрат и оптимальных режимов движения, а также других параметров, необходимых для проведения технико-экономического обоснования этих видов транспорта.

Метод исследования - теоретические расчеты по физически обоснованным моделям (схемам). Рассмотрим по отдельности каждое предложение.

Трубопроводный пневмотранспорт на ВП (рис.1,а). Энергия потока используется одновременно для создания тяги, а также вертикальной подъемной силы от ВП. Последняя компенсирует силу веса W , значительно снижает силу сопротивления движению. Скорости потока V и грузового контейнера U связаны соотношением

$$V = U + \Delta V ; \Delta V = Q_{ут.} / S ;$$

где ΔV - скорость отставания контейнера от потока, $Q_{ут.}$ - расход на утечки через манжету и ВП, S - площадь трубопровода.

Режим разгона характеризуется: давлением ΔP_0 и скоростью потока V_0 при трогании контейнера, скоростью отставания контейнера $\Delta V_{п}$ в режиме ВП и временем разгона t_p :

$$\Delta P_0 / \Delta P_n = (f + f_m) / (f + S_m / S_n);$$

$$V_0 = \sqrt{2 \Delta P_0 / \rho \cdot \xi_0}; \quad \Delta V_n = \sqrt{2 \Delta P_n / \rho \cdot \xi_n};$$

$$t_p = \frac{V_0}{2g(f + f_m)} \cdot \eta_n \frac{(\Delta V_n + V_0)(V - V_0)}{(\Delta V_n - V_0)(V + V_0)}$$

Здесь f и f_m - коэффициенты трения ВП и дополнительных элементов, S_m и S_n - эффективные площади уплотнения и ВП, ξ_0 и ξ_n - коэффициенты гидравлических сопротивлений потока при неподвижном контейнере и движении на ВП, ΔP_n - давление ВП.

Для режима движения на ВП потребные расход воздуха Q , давление потока ΔP и мощность нагнетателя N (если характеристики нагнетателя близки к линейным) определяются из соотношений:

$$Q = (\sqrt{a_2^2 - 4a_1 a_3} - a_2) / 2a_1;$$

$$\Delta P = \Delta P_m - a_2 Q; \quad N = 1,1 \cdot \Delta P \cdot Q / \eta_n \eta_p,$$

где ΔP_m , Q_m - максимальные давления и расход, развиваемые нагнетателями; η_n и η_p - КПД нагнетателя и привода; a_1 , a_2 , a_3 - постоянные коэффициенты, зависящие от параметров трубопровода и характеристик нагнетателя.

Рассмотрена задача энергетической оптимизации параметров установок. Для установок периодического действия оптимальная скорость потока определяется из уравнения:

$$q_1 V^3 - q_2 V^2 - q_3 = 0,$$

где $q_1 = 2A_1$; $q_2 = 3A_1 \cdot \Delta V_n$; $q_3 = B_1 \cdot \Delta V_n$;

A_1 , B_1 - постоянные коэффициенты, зависящие от параметров трубопровода и ВП.

Для установок непрерывного действия оптимальная скорость потока определяется из уравнения:

$$C_1 V^4 - C_2 V^3 + C_3 V^2 - C_4 = 0;$$

$$\text{где } C_1 = 3A ; \quad C_3 = 3A \cdot \Delta V_{\Pi}^2 ; \\ C_2 = 6A \cdot \Delta V_{\Pi} ; \quad C_4 = B \cdot \Delta V_{\Pi} ;$$

A и B - постоянные коэффициенты, зависящие от параметров трубопровода и ВП.

Потребный расход, давление и мощность нагнетателя определяется из соотношений:

$$Q = 1,1 \cdot V \cdot S ; \quad \Delta P = K \cdot Q^2 + n_i \cdot \Delta P_{\Pi} ; \\ N = 1,1 \cdot Q \cdot \Delta P / \eta_{\Pi} \cdot \eta_{\Gamma} ;$$

где n_i - число контейнеров, одновременно находящихся в трубопроводе.

Скоростной бесконтактный транспорт на ВП для межгородской связи (рис. 1, б). В установившемся движении на АВП действуют аэродинамическое и импульсное сопротивления, а также составляющая веса на уклонах. Обычно для АВП используют понятие эквивалентного коэффициента сопротивления движению $f_{\text{экр}}$, определяемого зависимостью:

$$f_{\text{экр}} = N/W \cdot V + \Sigma R/W,$$

где ΣR - суммарное сопротивление, N - мощность на создание ВП. Коэффициент $f_{\text{экр}}$ зависит от скорости движения V :

$$f_{\text{экр}} = \alpha_1/V + \alpha_2 \cdot V^2 + \alpha_3 \cdot V + \alpha_4.$$

Это соотношение показывает, что существует оптимальная скорость движения V_{opt} и минимальное значение коэффициента $(f_{\text{экр}})_{\text{min}}$. Для определения V_{opt} получено уравнение

$$\beta_1 \cdot V^3 + \beta_2 \cdot V^2 - \beta_3 = 0.$$

Если пренебречь импульсным сопротивлением ВП, то

$$V_{\text{opt}} = \sqrt[3]{\beta_3/\beta_1}, \quad (f_{\text{экр}})_{\text{min}} = \alpha_1/V_{\text{opt}} + \alpha_2 \cdot V_{\text{opt}}^2 + \alpha_4.$$

Здесь α_i и β_i - постоянные коэффициенты. Если учитывать противо-

давление перед АВП и течение воздуха в зазоре между аппаратом и трубой, то необходимо использовать методику, предложенную в работе /1/.

Комбинированный колесно-подушечный транспорт (рис.1,в). Степень нагружения колес K_p зависит от величины подъемной силы Y_n ВП, которая в общем случае должна быть меньше внешней нагрузки W :

$$0 \leq Y_n < W; \quad K_p = Y_n / W; \quad 0 \leq K_p < 1.$$

Суммарные затраты мощности при движении идут на преодоление сил сопротивления и на создание ВП. Условия для определения диапазона скоростей движения V , грузоподъемности W и коэффициентов разгрузки K_p , при которых выгоднее колесно-подушечный режим по сравнению с чисто колесным, определяются из сравнения энергетических затрат и имеют вид:

$$f \geq a_1 \cdot V^2 + b_1 \cdot V + c_1; \quad ;$$

$$f \geq a_2 / K_p + b_2 / \sqrt{K_p} + c_2 \sqrt{K_p};$$

$$f \geq a_3 / W + b_3 / \sqrt{W} + c_3 \sqrt{W};$$

Здесь f - коэффициент сопротивления качения колес; a_i, b_i, c_i - постоянные коэффициенты. Суммарная мощность относительно K_p имеет минимум. Получено уравнение для определения $(K_p)_{opt}$. Если пренебречь индуктивным сопротивлением ВП, то

$$(K_p)_{opt} = (2 \cdot f \cdot V / Q)^2; \quad N_{min} = f \cdot W \cdot V \cdot [1 + (K_p)_{opt}].$$

Итак, разработана методика расчета трубопроводного транспорта на ВП, с помощью которой можно обосновать перспективные сферы применения: скоростной межгородской транспорт; транспортировка сыпучих строительных материалов; доставка зерна, сахарной свеклы, картофеля и других продуктов производства.

Литература:

1. Введение в аэрогидродинамику трубопроводного транспорта /Под ред. А.С. Гиневского - М.: Наука, 1986 - с. 232.

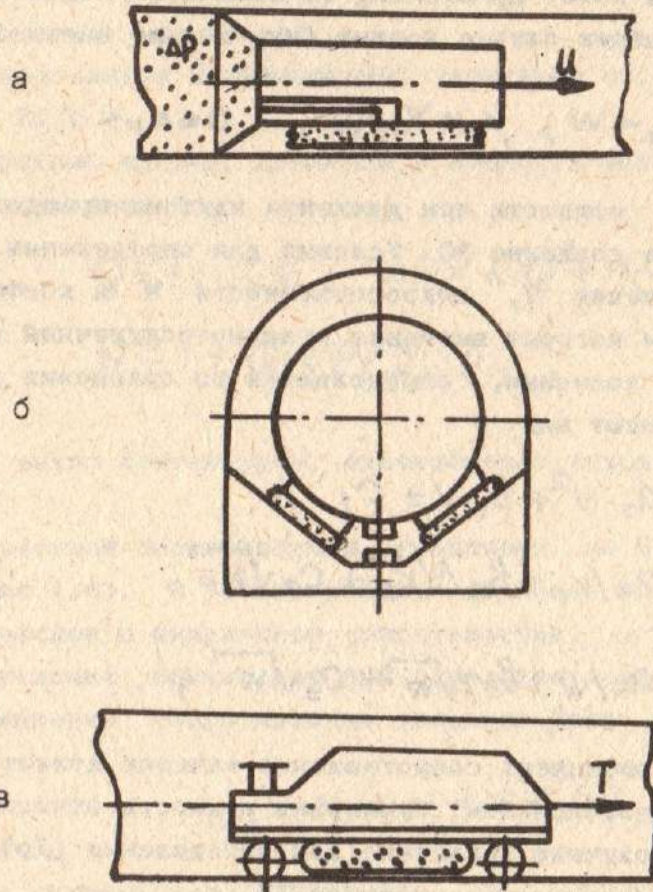


Рис. I Трубопроводный транспорт на воздушной подушке

- а - пневматический ;
 б - скоростной бесконтактный ;
 в - колесно-подушечный .