

Омаров К.А., Сарсенова Г.О., Мусабаев А.С.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ В КОНВЕЙЕРЕ
НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ**

K.A. Omarov, G.O. Sarsenova, A.S. Musabaev

**DETERMINATION OF THE RESISTANCE IN A PIPE
ON AN AIR CUSHION**

УДК:622. 647

В статье рассмотрены определение видов и величин сопротивлений в конвейере на воздушной подушке с целью установления эффективности воздушной подушки и энергоёмкости конвейера.

The article deals with the definition of types and magnitudes of the resistance in a pipe on an air cushion in order to establish the effectiveness of air bags and power consumption of the conveyor.

Сопротивления в КВП необходимо разделить на аэродинамические и механические.

Аэродинамические сопротивления - это сопротивления связанные с образованием ВП под грузонесущим органом конвейера и с движением воздуха в системе циркуляции. Величина аэродинамических сопротивлений определяет эффективность ВП в КВП. Механические сопротивления -это сопротивления, возникающие от соприкосновения грузонесущего органа с желобом при движении, когда происходит потеря им вертикальной устойчивости. Определение механических сопротивлений на данном этапе развития КВП не представляется возможным[1]

Величина аэродинамических сопротивлений в КВП зависит от многих факторов: от механических свойств насыпного груза и его высоты на грузонесущем органе от схемы образования ВП и схемы циркуляции воздуха, от размера и формы желоба, от системы подводящих трубопроводов и т.д.

Точное определение аэродинамических потерь с учетом всех факторов имеет большое практическое значение, так как позволяет правильно выбрать форму и размеры желоба, схему циркуляции воздуха и систему трубопроводов, источник сжатого воздуха и двигатель для его привода.

Вопросу определения аэродинамических сопротивлений в КВП предназначена работа [2] .Но в данной работе не учитываются физико-механические свойства грузов, что приведет, при определении сопротивлений в КВП перемещающим связные грузы, к неоправданному завышению их.

Сопротивление движению следует оценивать по удельной его величине по выражению

$$\omega = N / (G_{сп} + G_{зо}) \cdot 3_{zo} \cdot \cos \alpha_c \quad (1)$$

Для КВП веса груза и грузонесущего органа выразим через линейные веса, то есть

$$G_{ГР} = g_r \cdot L_k \text{ и } G_{го} = 2 g_{го} \cdot L_k \quad (2)$$

Производительность конвейера определяется по известной формуле

$$Q = 3,6 g_{гр} \cdot 9_{го} \quad (3)$$

Из выражения (3) необходимо определить линейную нагрузку от груза и представив ее в (2) ,а (2) в (1) получили коэффициент сопротивления для КВП.

$$\omega = N / [(2g_{го} \cdot 9_{го}) + (Q/3,6)] \cdot L_k \cdot \cos \alpha_r$$

Для одного погонного метра конвейера коэффициент сопротивления будет равен

$$\omega = N / [(2g_{го} \cdot 9_{го}) + (Q/3,6)] \cdot \cos \alpha_r \quad (5)$$

Мощность , необходимая на поддержание одного погонного метра грузонесущего органа с грузом, определяется по выражению [3]

$$N_m = P_m \cdot V_m / \eta \quad (6)$$

Подставив (6) в (5) получим

$$\omega = P_m V_m / [(2g_{го} \cdot 9_{го}) + (Q/3,6)] \eta \cdot \cos \alpha_r \quad (7)$$

Избыточное давление, необходимое на поддержание одного метра грузонесущего органа с грузом определяется из равновесия сил, действующих на грузонесущий орган. Для этого на нагруженном грузонесущем органе, расположенном в желобе конвейера, выделим элементарную площадку шириной δx и длиной равной единице (рисунок 1,а).

На элементарную площадку δx действуют силы от нормальных a и касательных x напряжений, возникающих в насыпном грузе, сила сжатие $F_{сж}$ от собственного веса грузонесущего органа, вес элементарного отрезка грузонесущего органа $dG_{зо}$ и сила давления воздуха Pdx .

В действительности, грузонесущий орган в трапециевидальном желобе, располагается не по дуге окружности, как приведено на рисунке 1 ,а ломаной линии. Однако аппроксимация выявится, что принятые формы грузонесущего органа по дуге окружности дает достаточную практическую точность .если углы наклона боковых сторон трапеции не превышают 36° [4].Составляем уравнение проекций сил, действующих на площадку δx ,на нормальную и касательную оси площадки.

$$dG \sin \beta_b + F_{сж} - (F_{сж} + dF) + \tau dx - (\tau + d\tau) dx = 0 \quad (8)$$

Откуда

$$dF = dG \sin \beta_b - d \tau dx \quad (9)$$

Так как $dG_{гo} = g_{гo} dx / B$, то $dF = g_{гo} \sin \beta_B dx / B$ (10)

$$F_{сж} = g_{гo} \int \sin \beta_B dx / B$$

Проекция сил, действующих на элементарную площадку на нормаль к ней

$$P_1 dx = \sigma dx + dG_{гo} \cos \beta_B - F_{сж} dp \quad (11)$$

После подстановки (10) в (11) получим

$$P_1 = (g_{гo} / B) [\cos \beta_B - (dp/dx) \int \sin \beta_B dx] \quad (12)$$

Выразим абсциссу x и высоту на грузонесущем органе H через ширину грузонесущего органа и размеры желоба

$$x = B(a - \beta_B) / 2 \alpha; H = (B/2 \alpha)(\cos \beta_B + \cos 2\beta_{з.гр.}) \quad (13)$$

Определив из (13) dp/dx и подставив в (12), после взятия интеграла в указанных пределах, получили значения от веса грузонесущего органа по ее ширине

$$P_1 = g_{гo} (2 - \cos \alpha) \cos \beta_B / B \quad (14)$$

Для определения нормальных напряжений действующих на грузонесущий орган от насыпного груза, применил теорию сыпучих тел [5]. Вопросы определения давления насыпного груза на грузонесущий орган ленточного конвейера посвящены следующие работы [5-8], однако в них не приводится оценка влияния физико-механических свойств насыпного груза на величину его давления на грузонесущий орган по сравнению с идеальными сыпучими грузами. Так как грузонесущий орган КВП движется в желобе, поддерживается ВП, практически, с постоянным развалом, определяемым формой желоба, то давление груза на грузонесущий орган будет обуславливается лишь действием сил тяжести. Такое давление теории сыпучих тел носит звание «активного», а следовательно и задача по определению давления груза на грузонесущий орган, сводится к определению активных давлений.

Прогиб грузонесущего органа в желобе определяется высотой ВП, величина которой равна от долей шпигеля, до нескольких миллиметров. Поэтому для упрощения, будем считать что сечение грузонесущего органа с грузом при движении остается постоянным, и следовательно частицы груза не перемещаются относительно друг друга, что позволяет, с достаточной степенью точности, принять траектории главных напряжений вертикальными и горизонтальными прямыми.

Для решения поставленной задачи выделим в столбе груза на элементарном отрезке грузонесущего органа dx треугольную призму с основанием «авс» и высотой равной единице, так, чтобы грани «авс» и «вс» совпадали с плоскостями главных напряжений σ_1 , и σ_2 (рисунок 1,б).

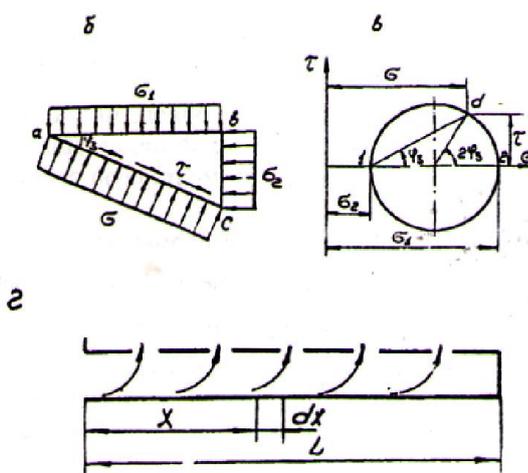


Рис. 1. Расчетные схемы к определению давления груза на ленту и аэродинамического сопротивления по длине желоба а-схема поперечного сечения желоба; б-схема равновесия элементарной призмы, вокруг напряжений сыпучего тела; г-схема продольного сечения желоба.

Составим уравнение проекции действующих сил на нормаль к площадке «ас».

$$ac * \sigma - ab * \sigma_1 \cos \beta_B - bc \sigma_2 \sin \beta_B = 0 \quad (15)$$

где $ab = ac \cdot \cos \beta_B$, $bc = ac \cdot \sin \beta_B$

В результате замены «ав2 и «вс» их значениями, уравнение (15) имеет следующий вид:

$$\sigma = \sigma_1 \cos^2 \beta_B + \sigma_2 \sin^2 \beta_B \quad (16)$$

Аналогичным образом составляется уравнение суммы проекций действующих сил на площадки «ас»,

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \beta_B \quad (17)$$

Величину нормальных и касательных напряжений, действующих на площадку «ас» можно получить и графическим методом с помощью круга напряжений (рисунок 1,в). Для этого, достаточно знать напряжения на любых двух площадках. Зная нормальное напряжение $\sigma_1 = \gamma_{гр}H$ и боковое давление $\sigma_1 = \gamma_{гр}HK_{бд}$, откладываем их по абсцисс и на отрезке 1-2, как на диаметре, строим круг. Отложив от точки 2 дугу с центральным углом, равным $2\beta_B$, найдем точку α , абсцисса которой определяет нормальные напряжение, а ордината - касательное. Подставив значения главных напряжений в уравнение (16). Получим, с учетом наклона конвейера к горизонту

$$\sigma = \gamma_{гр}H (\cos^2 \beta_B + K_{бд} \sin^2 \beta_B) \cos \beta_1 \quad (18)$$

Для идеально сыпучего груза коэффициент подвижности

$$k_{под} = (1 - \sin \rho_{ВНмр}) / (1 + P_{вн.мр}) \quad (19)$$

Коэффициент подвижности для связанного сыпучего груза [4]

$$K_{подв} = 1 + 2f_{ВН.гр} * fc.c\delta - 2f_{сод} \sqrt{1 + f_{ВН.гр}^2} \quad (20)$$

С увеличением скорости движения насыпного груза, что характерно для КВП, установлено, что коэффициент бокового давления значительно увеличивается и определяется по эмпирическому выражению [4]

$$K_{б.д} = (1,2 + 9)K_{б.д.min} \text{ и } K_{б.д.min} = 1/(1 + \sin \rho_{ВТр}) \quad (21)$$

Давление по ширине грузонесущего органа от его веса и насыпного груза переменное. Суммарное давление определится интегрированием (13) и (14)

$$P = (q_{гo}B/B_2) 2 \int_0^{\alpha} (2 - \cos \alpha) \cos \beta_1 \, d\alpha = (q_{гo}/a) (2\alpha - \sin \alpha) \cos \beta_1 \quad (22)$$

$$\sigma = (\gamma_{гр} B \cos \beta_r / 2\alpha^2) \int (\cos \beta_B + \cos 2\beta_{зюгр}) (\cos^2 \beta_B + K_{бд} \sin^2 \beta_B) d\rho =$$

$$(\gamma_{гр} B \cos \beta_r / 2\alpha^2) \left\{ \frac{\cos 2\beta_{зюгр} / 2\alpha \left[(\pi - 2\beta_{зюгр})(1 + K_{б.д}) + (1 - K_{б.д}) (\sin 4\beta_{зюгр} / 2) \right]}{\sin 2\beta_{зюгр} - (1 - K_{б.д}) \sin^2 2\beta_{зюгр} / 2} \right\} \quad (23)$$

Удельные затраты на поддержание погонного метра грузонесущего органа с грузом ВП определяется после подстановки (21, 22 и 23) в (7)

$$\omega_{ВП.М} = \frac{\cos \beta_r}{\eta [2q_{гo}B/B_2 + (\frac{Q}{B})]} \quad (24)$$

Потери управления воздуха от трения по длине желоба на элементарном отрезке dx определяется по выражению (рисунок 1)

$$\partial P = (f_{в.ж} \gamma_{в.ж} \cdot G_{в.ж}^2 / 2P_{г.ж}) dx \quad (25)$$

Расход воздуха через участок желоба dx на расстоянии x от начала равен

$$V_x = V_{мс} + q_e(L_{ж} - x) \quad (26)$$

Выразив скорость воздуха через расход, при отсутствии в данном случае расхода, уравнение (26) имеет следующий вид:

$$\partial P = [(f_{в.ж} \gamma_{в.ж}) [G_{в.ж}(L_{ж} - x)]^2 / 2S_{ж}^2 D_{д.ж.}] dx \quad (27)$$

После интегрирования, потери давления воздуха на преодоление сил трения в желобе будут -

$$\vartheta P = [(f_{в.жс.} \gamma_B) [L_{жс} - x]^2 / 2 S_{жс}^2 D_{д.жс.}] \vartheta x \quad (28)$$

Давление воздуха необходимое на преодоление линейных и местных потерь в желобе и в подводящих воздуховодах определится по выражению

$$P_1 = \sum [(f_{в.жс.} L_{жс.} / S_{жс}^2 D_{д.жс.} + (q_{мс} / S_{жс}^2)] + (\gamma_B V^2 / 2) + \sum [f_{в.в.} L_{в.} / D + q_{мв}] (\gamma_B \vartheta^2_{BB} / 2) \quad (29)$$

Полное давление, которые должен развивать вентилятор ,питающий воздухом ВП, определится суммированием (28,29 и 30) при $a = \beta_B = 0$;

$$P_{\Sigma} = \cos \beta_r \{ (q_{гo} / B) + (\gamma_{гp} \beta / 2\alpha) (1 + \cos 2\beta_{з.гp}) \} + P_{п}$$

Для груженого грузонесущего органа

$$P_{\Sigma} = (\cos \beta_r q_{гo} / B) + P_{п} \quad (30)$$

Для порожнего грузонесущего органа

$$(31)$$

Выводы.

На основе анализа принципа воздушной подушки были установлены виды возникающих сопротивлений. Получены аналитические зависимости для определения давления груза на ленту, аэродинамического сопротивления расхода и давление воздуха, а также мощности конвейера.

Литература:

1. Пискун И.А. Исследование ленточного конвейера на воздушной подушке. /Отчет ММИ-Могилев: ММИ,1985-124с.
2. Коваль А.В., Овсянков А.С., Шпакунов И.А. О жесткости конвейерной ленты при изгибе. //Сборник «Вопросы рудничного транспорта», выпуск 14-М.: Недра, 1980-с.78-82.
3. Кондратьев Г.В., Жулин Н.М., Онохов П. П., Маховер Ю.М. Исследования работы конвейера на воздушной подушке. //Материалы XXVII НТК, выпуск 2-Л.: ЛИВТ,1983-с.47-51с.
4. Кондратьев Г.В. Экспериментальное исследование модуля поперечного изгиба конвейерной ленты. //Сборник научных трудов молодых специалистов. Ч.У.-Л.: ЛИВТ,1983-72-77с.
5. Кондратьев Г.В. Экспериментальное исследование модуля поперечного изгиба конвейерной ленты. //Сборник научных трудов молодых специалистов. Ч.У.-Л.: ЛИВТ,1983-72-77с.
6. Кондратьев Г.В. Исследование условий поддержания конвейерной ленты на воздушной подушке. //Сборник трудов молодых научных работников. Ч.У.-Л.: ЛИВТ,1986-83-86с.
7. Беляков В.А., Аралкин А.С. Исследования параметров ленточного конвейера с воздушной подушкой. //Издательство Вузов «Горный журнал» №9, 1988-с.92-95.
8. АЕКО-GO-Luftkissen-Transportsystem lost die schwierigster Transport problem-Lagerm and Fordern. 1978.№2,6.

Рецензент: д.т.н., профессор Мендекеев Р.А.