

Расчет пневмотранспортной системы для перемещения цемента из бункера в силос.

Исходные данные.

Железнодорожный вагон-хоппер разгружается в бункер, расположенный в приемке. Из бункера цемент транспортируется в силосы емкостью 110 м^3 . Схема представлена на рис. 1.

Рассчитать потери давления в пневмотрассе и выбрать оборудование для следующих исходных данных:

- производительность 50 т/час цемента
- длина пневмопровода (включая вертикальный участок) 26 м
- высота подъема 21 м

Цемент М500, размер частиц менее 100 мкм, насыпная плотность 1400 кг/м^3 , истинная плотность 3000 кг/м^3 .

Проектируемые характеристики трубопровода:

Воздушная линия (от воздуходувки до пневмонасоса):

- диаметр трубопровода 156x8 мм
- длина трубопровода 5600 мм
- количество задвижек – 2 шт
- количество плавных поворотов (отводов) – 1 шт

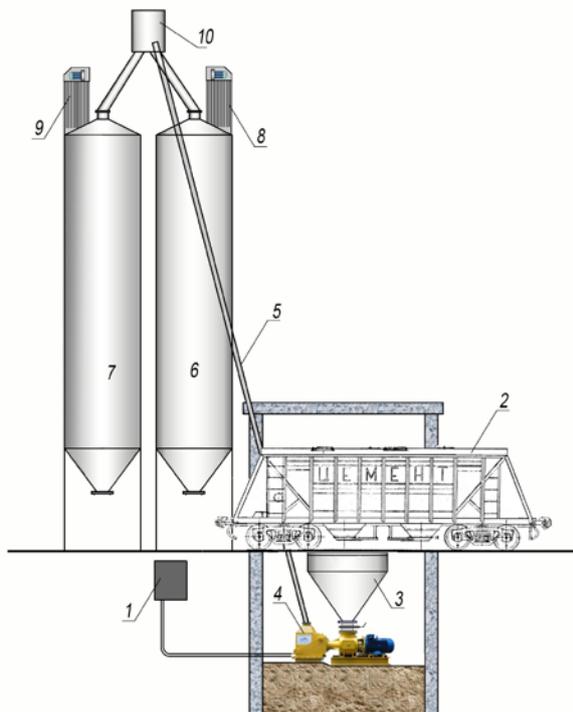


Рис. 1. Схема разгрузки железнодорожного вагона-хоппера:

1 – воздуходувка; 2 – ж/д вагон; 3 – приемный бункер; 4 – винтовой пневмонасос; 5 – пневмопровод; 6, 7 – силосные емкости; 8, 9 – фильтры; 10 – разгрузитель.

Воздуходувка находится в помещении, забор воздуха из помещения через крышный вентилятор, температура воздуха до воздуходувки 10°C , после воздуходувки 20°C .

Линия воздуха с твердой фазой (от пневмонасоса до силоса):

- диаметр трубопровода 156x8 мм
- длина трубопровода 26 м
- количество задвижек – 1 шт
- количество переключателей потока – 1 шт
- количество плавных поворотов – 3 шт

Расчет гидравлического сопротивления

Для воздушной линии используем обычные уравнения гидравлики. Потеря давления Δp (Па) на трение и местные сопротивления:

$$\Delta p_{\text{в}} = \lambda \frac{L \rho w^2}{d} + \sum \zeta_i \frac{\rho w^2}{2}, \quad (1)$$

где w – скорость воздуха, м/с, ρ – плотность воздуха при средней температуре и давлении в трубопроводе, кг/м³, L, d – длина и диаметр трубопровода, м, ζ_i – коэффициенты местного сопротивления, λ – коэффициент трения.

Плотность воздуха

$$\rho = \frac{M_{\text{в}}}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot (p + p_0)}{p_0(t + 273)} \quad (2)$$

где $M_{\text{в}}$ – молекулярная масса воздуха, 29 кг/кмоль, p_0 – нормальное атмосферное давление воздуха 101,3 кПа, p – рабочее избыточное давление в трубопроводе, кПа, t – температура воздуха, °С.

В пневмонасосе в поток воздуха вводится твердая фаза, поэтому уравнения для расчета потери давления будут несколько иными.

Потери давления на трение в пневмопроводе:

$$\Delta p_{\text{в}} = K x_{\text{т}} \lambda \frac{L \rho w^2}{d} + \sum \zeta_i \frac{\rho x_{\text{т}} w^2}{2} + \rho x_{\text{т}} g H \quad (3)$$

Здесь $x_{\text{т}}$ – концентрация твердой фазы в пневмотрассе, кг/кг (количество кг твердой фазы, приходящееся на 1 кг воздуха). Концентрацию твердой фазы при транспортировке винтовыми насосами принимают 20-40 кг/кг, оптимальную концентрацию можно определить более точно, просчитав несколько вариантов при разных значениях концентрации. Чем меньше длина трубопровода, тем выше может быть концентрация.

Коэффициент K – экспериментальный поправочный коэффициент, определяемый по формуле

$$K = \frac{C_{\text{т}} d}{v_{\text{в}}^{0,9}}. \quad (5)$$

Для цемента константу $C_{\text{т}}$ принимают равной 100.

Скорость воздуха в пневмотрассе меняется в зависимости от изменения давления в трубопроводе. Скорость на выходе из трубопровода (при атмосферном давлении) принимается от 20 до 40 м/с – чем длиннее пневмотрасса, тем выше должна быть скорость. Желательно принимать не слишком высокую скорость, чтобы минимизировать потери давления и снизить абразивный износ трубопровода.

Расход воздуха диаметр пневмопровода определим из уравнения баланса.

Расход воздуха, создаваемый воздуходувкой $V_{\text{в}}$ обычно выражают в м³/мин при температуре 20°С. Расход твердой фазы определяется производительностью винтового питателя насоса, для производительности 50 т/час подходит винтовой пневмонасос ТА-50. $G_{\text{т}} = 5000$ кг/час. Тогда концентрация твердой фазы определится выражением:

$$x_{\text{т}} = \frac{G_{\text{т}}}{60 V_{\text{в}} \rho_{\text{в}}}. \quad (6)$$

Плотность воздуха при 20°С $\rho_{\text{в}} = 1,21$ кг/м³.

Необходимый для пневмотранспорта внутренний диаметр трубопровода определим из выражения:

$$d = \sqrt{\frac{V_{\text{в}}}{60 \cdot 0,785 w}}. \quad (7)$$

где $V_{\text{в}}$ определяется из выражения (4). Для скорости 20 м/с и концентрации твердой фазы 35 кг/кг получаем $V_{\text{в}} = 19,7$ м³/мин, $d = 0,140$ м. Начнем расчет с этих значений с последующим выбором оптимального варианта пневмотрассы.

Коэффициент трения рассчитываем по формуле:

$$\lambda = \frac{0,246}{Re^{0,22}} \quad (8)$$

где

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} \quad (9)$$

Динамический коэффициент вязкости воздуха μ (Па·с) зависит от температуры:

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2} \quad (10)$$

где T – температура воздуха, К, C – константа Сатерленда для воздуха $C = 124$. $\mu_0 = 0,0173 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Коэффициенты местного сопротивления для воздушной трассы определим, предварительно выбрав диаметр трубы по ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Для абразивных материалов желательнее выбрать толстостенную трубу.

Возьмем трубу $\Phi 150 \times 6$ с внутренним диаметром 140 мм ($Dy = 140$ мм).

Коэффициенты местных сопротивлений берем из справочника по гидравлике для условного прохода 140 мм (таблица 1).

Коэффициенты местных сопротивлений

Таблица 1

Вид сопротивления	Кол-во	Значение
А. Воздушная линия Dy 100 мм		
1. Задвижка стандартная	2	0,37
2. Поворот плавный на 90° R/d=4	1	0,11
3. Выход из трубы в камеру пневмонасоса	1	0,5
Б. Линия пневмотранспорта Dy 140 мм		
1. Вход в пневмотрубу	1	1,0
2. Плавный поворот на 30° R/d=4	2	0,05
3. Переключатель потока	1	0,5
4. Плавный поворот на 90° R/d=4	1	0,11
4. Выход из трубы в силос (в разгрузитель)		0,5

Сопротивление картриджного фильтра, установленного на силосе, принимаем по паспортным данным выбранного фильтра (SFCA-24), которое составляет 2-6 кПа. Фильтрация пыли происходит за счет небольшого избыточного давления в силосе, регенерация фильтровальных элементов выполняется импульсно сжатым воздухом.

Если установить фильтр типа DLM (Dolmatic) с принудительной системой вытяжки собственным вентилятором, то можно принять давление в силосе равным атмосферному.

Расчет по формулам (1 – 10) выполняем в программе exel-2010 (см. приложение в конце текста).

Поскольку давление, плотность по длине пневмотрассы меняется, трубопровод разбиваем на участки. Расчет начинаем с конца трассы, принимая избыточное давление в силосе равным гидравлическому сопротивлению фильтра 6000 Па=6 кПа.

В результате расчета получаем, что требуемое избыточное давление, которое необходимо создать перед пневмовинтовым насосом ТА-50 составляет 60 кПа. Примем с запасом 10% воздухоудовку серии HDSR-150H:

- производительность 21,7 м³/мин
- избыточное давление 68,2 кПа

Для создания такого давления подойдет одноступенчатая роторная воздухоудовка HDSR-150H:

- частота вращения ротора 980 об/мин
- производительность 23 м³/мин
- избыточное давление 0,686 бар
- потребляемая мощность 39,2 кВт
- установлен электродвигатель мощностью 45 кВт
- масса воздухоудовки 470 кг

Страна-производитель – Китай, ориентировочная цена \$ 4,000 (260 тыс. руб. без учета НДС).

Серия воздуходувок высокого давления HDSR-H

Давление[бар]. Производительность [м³/мин]. Скорость вращения ротора [об/мин]. Мощность [кВт].

HDSR 150H																
Давление	0.637		0.686		0.735		0.784		0.833		0.882		0.931		0.98	
Скорость вращения	м³/мин	кВт														
810	10.26	17.16	10.11	18.00	10.06	20.73	9.84	20.40	9.8	24.38	9.75	25.98	9.64	27.28	9.53	28.58
860	11.16	17.77	11.00	19.42	10.85	20.87	10.37	22.03	10.62	25.67	10.51	26.97	10.40	28.27	10.29	29.57
980	23.20	37.51	23.00	39.17	22.80	42.22	22.60	44.31	22.40	48.08	22.19	51.21	11.97	33.40	11.65	37.20
1200	29.50	44.39	29.30	46.83	29.10	49.83	28.90	53.52	28.70	57.46	58.45	61.85	27.05	65.89	26.54	67.02
1310	32.80	49.35	32.60	52.54	32.40	56.03	32.10	60.33	31.80	64.25	31.50	68.57	31.20	71.93	30.90	75.23

Пневмоподъемник ТА-50: выбираем российского производителя, установлен двигатель 30 кВт, ориентировочная цена 320 тыс. руб. без учета НДС.

ПНЕВМОПОДЪЕМНИК ТА-52



Производительность: 50 т/ч

Высота подъема: 35 м

Расход сжатого воздуха: 8 м³/мин

Давление сжатого воздуха: 0,12 Мпа

Мощность привода шнека: 30 кВт

Диаметр транспортного трубопровода: 130 мм

Масса: 740 кг

Габариты: 2280x700x940 мм

Данную схему можно оптимизировать как по стоимости оборудования, так и по затратам электроэнергии. Например, можно сделать расчет на меньший расход воздуха и выбрать воздуходувку меньшей производительности. Сделать расчет на меньшую или большую производительность по разгружаемому материалу.

Рекомендуется на воздуходувку установить частотный преобразователь, который позволит производить разгрузку при минимально возможном давлении и расходе сжатого воздуха. Это позволит уменьшить энергетические затраты на пневмотранспорт.

Имея расчет пневмотранспортной линии в виде электронной таблицы excel, Вы можете моделировать различные варианты пневмотранспорта с целью оптимизации капитальных и энергетических затрат.

Установка вместо пневмовинтового насоса шлюзового пневмонасоса позволит снизить энергопотребление схемы в 2-3 раза и уменьшить размер приемка.

Генеральный директор
ООО «КИАНИТ», к.т.н.
Моб. +7 921 947 0458
Факс. (812) 373 62 39
E-mail: anest126@mail.ru
Skype: anest126

<http://www.kianit.ru/>

<http://www.processes-apparates.ru/>

Нестеров А.В.

Расчет пневмотрассы ТА-50

(расчет потерь давления на трение и на подъем в пневмотрассе по участкам)

	1000		1000		3600			10000				15000		1000		
	Ф 108 мм	Задвижка 1	Задвижка 2	Ф 108 мм	Ф 108 мм	отвод 1 шт	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Ф 156x8 мм	Силос	
	Воздух							Воздух с твердой фазой								
	трение	зав.1	трение	зав.2	отвод	трение	выход	ввод	трение	подъем1	подъем2	отводы	перекл	трение	ввод	Итого:
Длина L, м	1,00		1,00	0,50	0,13	3,60			10,00	10,00	11,00			16,00		
Диаметр D, м	0,140		0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,14
Давление изб. Δp, кПа	60	60	60	60	60	60	60	60	54	44	38	31	30	26	10	6
Расход возд., м³/мин	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7
Расход тв. фазы, кг/час	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
Скорость воздуха, м/с	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	14,0	14,9	15,5	16,3	16,5	17,0	19,4	19,4
Плотность воздуха, кг/м³	1,927	1,926	1,925	1,925	1,924	1,924	1,923	1,922	1,850	1,731	1,661	1,586	1,567	1,523	1,330	1,330
Конц. тв. фазы, кг/кг	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
Re	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399	197399
λ	0,017		0,017			0,017			0,017		0,017		0,017		0,017	0,017
К		0,50		0,50	0,11		0,50	1,00				0,2	0,5		0,5	
Потери давления Δp, кПа	0,021	0,087	0,021	0,087	0,019	0,075	0,087	6,064	9,885	5,938	6,264	1,543	3,718	16,126	4,381	54

Экв. длина L, м	Длина трубопровода (м), или коэффициент местного сопротивления задвижки, отвода, сужения
Диаметр D, м	Внутренний диаметр трубопровода (м)
Давление изб. p, ат	Избыточное давление в выбранной точке трубопровода, рассчитывается из условия, что в силосе избыточное давление равно сопротивлению фильтра.
Расход возд. V _в , м³/мин	Расход воздуха из газодувки (компрессора) при нормальных условиях (м³/мин)
Расход тв. G _т , кг/час	Количество твердой фазы, подаваемое в пневмопровод кг в час
Скорость w, м/с	Скорость воздуха при рабочем давлении p: $w = V_0 \rho_0 / \rho / (0,785 \cdot D^2) / 60$
Плотность в., кг/м³	Плотность воздуха при рабочем давлении $\rho = \rho_0 / (1 + p)$
Конц. тв. x, кг/кг	Концентрация твердой фазы (кг тв./кг возд.) $x = G / (V_0 \rho_0 \cdot 60)$
Re	Критерий Рейнолдса $Re = wD\rho/\mu$ или $Re = wD/v$, где μ - вязкость динамическая, Па·с, v - вязкость кинематическая, м/с²
λ	Коэффициент трения $\lambda = 0,246 Re^{-0,22}$
K	Коэффициент $K = 100 \cdot D/w^{0,9}$
Потери Δp, кПа	Потери давления на трение $\Delta p_{тр} = K \lambda \cdot L/D \cdot \rho w^2 / 2 \cdot 10^{-3}$, где 10^{-3} - перевод давления из Па в кПа
(в пневмотрассе)	Потери давления на местные сопротивления $\Delta p_{мс} = K \xi \rho w^2 / 2 \cdot 10^{-3}$, где ξ - коэффициент местного сопротивления (для задвижки, поворота, переключателя и др.)
	Потери давления на подъем материала $\Delta p_{под} = \rho g H \cdot 10^{-3}$, где H - высота подъема материала, м
	Потери давления ввод материала $\Delta p_{вх} = x \cdot \rho w^2 / 2 \cdot 10^{-3}$, где x - концентрация твердой фазы в воздухе, кг/кг
Потери Δp, па	Потери давления на трение $\Delta p_{тр} = \lambda \cdot L/D \cdot \rho w^2 / 2$
(в воздушной трассе)	Потери давления на местные сопротивления $\Delta p_{мс} = \xi \rho w^2 / 2$, где ξ - коэффициент местного сопротивления (для задвижки, поворота, сужения, - см. табл.)
Вязкость при температуре	20 °C $\mu = 0,018313 \cdot 10^{-3}$ Па·с

1 кгс/см² = 98,1 кПа

1 атм = 101,3 кПа

1 бар = 100 кПа