

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Директор

_____ О.Ю. Долматов

« __ » _____ 2014 г.

РАСЧЕТ УСТАНОВОК ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики

Составители: **Н.С. Тураев, И.Д. Брус, Кантаев А.С.**

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 539.13.08+543.52.+699.887.5
ББК Л1/7 35

Расчет установок пневмотранспорта: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Н.С. Тураев, И.Д. Брус, А.С. Кантаев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 28 с.

УДК 539.13.08+543.52.+699.887.5
ББК Л1/7 35

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов (№43) ФТИ «__» _____ 20__ г.

И.О. Зав. кафедрой ХТРЭ
доктор технических наук,
профессор

_____ *Р.И.Крайденко*

Председатель
учебно-методической комиссии

1. Общие положения

Данные учебно-методического указания составлены в помощь студентам при выполнении самостоятельных работ по курсу «Процессы и аппараты химических технологий»

Методические указания содержат расчёты всасывающих и нагнетающих установок пневмотранспорта.

Расчетные отношения, приведённые в тексте, взяты из литературы [1-6].

1.1. Основные свойства насыпных грузов

Основными свойствами насыпных грузов являются: гранулометрический состав (кусковатость), влажность, насыпная плотность, абразивность, слёживаемость.

Гранулометрическим составом называется количественное распределение частиц вещества по крупности.

Коэффициент однородности размеров частиц вещества:

$$R_0 = \frac{a_{\max}}{a_{\min}}; \quad (1.1)$$

где: a_{\max} – наибольший размер куска

a_{\min} – наименьший размер куска

при $R_0 > 2,5$ груз считается рядовым. При $R_0 < 2,5$ груз считается сортированным. Куски груза размером от $0,8 a_{\max}$ до a_{\max} составляют группу наибольших кусков.

Размер типичного куска принимается равным:

А) для материала при концентрации наибольших кусков менее 10%:

$$a' = 0.8 a_{\max}; \quad (1.2)$$

Б) для материала при концентрации наибольших кусков более 10%:

$$a' = a_{\max}; \quad (1.3)$$

В) для сортированного материала:

$$a' = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{2}; \quad (1.4)$$

По величине насыпной плотности сыпучие материалы классифицируются на:

лёгкие – при насыпной плотности менее 600 кг/м³

средние – 600 кг/м³

тяжёлые – 1200-2000 кг/м³

весьма тяжёлые – более 2000 кг/м³

Углом естественного откоса насыпного груза называется угол между поверхностью свободного откоса насыпного груза и горизонтальной плоскостью. Различают углы естественного откоса насыпного груза в состоянии: а) покоя – α_n ; б) движения груза – α

Приближённо принимается: $\alpha = 0,7\alpha_n$.

Угол естественного откоса характеризуется подвижностью частиц груза. Истирающей способностью (абразивностью) насыпных грузов называется свойство частиц истирать во время движения соприкасающиеся с ними поверхности. По абразивности насыпные грузы делятся на группы: А – неабразивные; В – малоабразивные; С – среднеабразивные; Д – высокоабразивные.

Слёживаемостью насыпных грузов называется свойство многих грузов терять подвижность своих частиц при длительном нахождении этих грузов в покое.

Таблица 1.1 – Характеристика свойств насыпных грузов

Наименование груза	Насыпная плотность кг/м ³	Угол естественного откоса Град.		Группа абразивности
		в покое	в движении	
1	2	3	4	5
Галька круглая	1,47-1,8	30		С
Известняк: мелкокусковой	1,47-1,8	45	30	В
Порошкообразный	1,57	40	30	А
Известь: гашёная в порошке	0,32-0,81	30-50	15-25	В
обоженная	1,0-1,1	30-40		В
Камень: крупнокусковой	1,8-2,2	45	30	В
средне и мелкокусковой	1,31-1,5	45	30	В
Мел: Порошок	0,95-1,2	39		В
средне и мелкокусковой	1,4-2,5	39		Д
Мрамор кусковой и зернистый	1,52-1,59	39		Д
Песок: сухой	1,41-1,65	45	30	С
влажный	1,5-1,7	50	35	В
Щебень сухой	1,2-1,8	45	35	Д

Таблица 1.2 – Классификация насыпных грузов по крупности

наименование	Размер типичных кусков, мм
Особо крупнокусковые	$a' > 320$
Крупнокусковые	$320 \geq a' > 160$
Среднекусковые	$160 \geq a' > 60$
Мелкокусковые	$60 \geq a' > 10$
Крупнозернистые	$10 \geq a' > 2$
Мелкозернистые	$2 \geq a' > 0,5$
Порошкообразные	$0,5 \geq a' > 0,05$
Пылевидные	$0,05 \geq a'$

1.2. Исходные данные для расчёта конвейеров

Основными исходными данными для расчёта конвейеров являются:

- а) характеристика транспортируемого материала;
- б) производительность;
- в) режим и условия работы;
- г) параметры трассы перемещения груза.

2. Теоретические основы расчета пневматического транспорта

При пневматической транспортировке перемещается смесь воздуха и взвешенного в нём материала. Характер движения частиц перемещаемого материала в значительной степени зависит от формы, размеров, веса частиц, скорости и направления потока, а так же от содержания материала в перемещаемом потоке.

Последнее обстоятельство особенно существенно, так как при незначительном содержании материала в воздушном потоке явления, происходящие при перемещении этой смеси, будут сходны с явлениями, имеющими место в воздушных потоках (вентиляционные сети); при значительном же содержании материала, наблюдаемые при перемещении, отличаются от процессов, происходящих в вентиляционных сетях. В связи с этим и методы расчёта установок пневмотранспорта будут несколько отличаться от методов расчёта обычных вентиляционных установок.

2.1. Весовая и объёмная концентрация

В процессе пневматического транспортирования сыпучих материалов по транспортному трубопроводу основным показателем, характеризующим режим работы установки, является насыщенность

воздуха частицами транспортируемого материала, т.е. концентрацией смеси, по которой проводятся все основные расчёты установки.

Различают обычно весовую и объёмную концентрации смеси, понимая под этим отношение весов и объёмов транспортируемого материала и транспортирующего воздуха.

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_b}; \quad (2.5)$$

где: μ – весовая концентрация, кг/кг;

Q_m – расход транспортируемого материала, кг/час;

Q_b – расход воздуха, кг/час.

А объёмная концентрация будет равна:

$$\delta = \mu * \frac{\rho}{\rho_i}; \quad (2.6)$$

где: δ - объёмная концентрация, M^3 / M^3 ;

ρ - плотность воздуха, $кг/м^3$;

ρ_m - плотность материала, $кг/м^3$;

В пневмотранспортных установках величина коэффициента концентрации смеси изменяются в довольно широких пределах.

Во всасывающих установках эта величина ограничена величиной вакуума, при которой плотность воздуха обеспечивает перемещение материала. В связи с этим значение концентрации смеси во всасывающих установках обычно находится в пределах 0,05-10 кг/кг.

В нагнетательных установках, работающих с повышенным избыточным давлением, величина коэффициента концентрации смеси теоретически не ограничена и колеблется от 10 до 150 кг/кг.

2.2. Скорость воздуха.

При движении твёрдой частицы сверху вниз в восходящем потоке газа первоначально частица будет двигаться с ускорением. Такое движение будет наблюдаться до тех пор, пока сила тяжести будет уравновешена аэродинамической силой давления воздуха (P), после того частица перестанет двигаться. Эта скорость воздуха называется скоростью витания. Последняя является основным критерием, характеризующим аэродинамические свойства частиц, возможность их пневматического транспортирования.

Скорость витания является тем пределом, при котором вертикальный транспорт существовать не может. Для устойчивого пневмотранспорта скорость потока должна быть выше скорости витания.

Экспериментальные исследования движения твёрдых частиц по горизонтальным трубопроводам показали, что нормальное транспортирование материала в этом случае наблюдается при скорости, в среднем, на 100% выше соответствующей скорости воздуха для вертикальных труб при одинаковых размерах труб и одинаковой подаче материала.

3. Задачи расчета и предварительные данные, необходимые для расчета пневматической установки

Расчёт пневмотранспортной установки проводится с целью определения диаметра трубопровода, а так же выбора очистного оборудования и воздуходувной машины.

Прежде чем приступить к расчёту установки, необходимо определить следующие основные величины:

- 1) техническую производительность установки;
- 2) длину транспортирующего трубопровода;

- 3) коэффициент концентрации смеси;
- 4) надёжно транспортирующую скорость воздуха.

4. Схемы пневмотранспортных установок

По способу создания в трубопроводе разности давлений пневмотранспортные установки делятся на:

- 1) всасывающие (вакуумные) установки;
- 2) нагнетательные (напорные) установки;
- 3) установки комбинированного типа.

В установках всасывающего типа материал движется под воздействием разреженного воздуха; в нагнетательных – в струе сжатого воздуха, а в комбинированных – часть пути под действием сжатого воздуха, часть под действием разреженного воздуха. Для всасывающих установок типичен ввод груза через всасывающее сопло, для нагнетательных – с помощью питателей, шлюзующих груз из внешнего пространства в находящийся под давлением трубопровод.

Всасывающая установка, рисунок 4.1

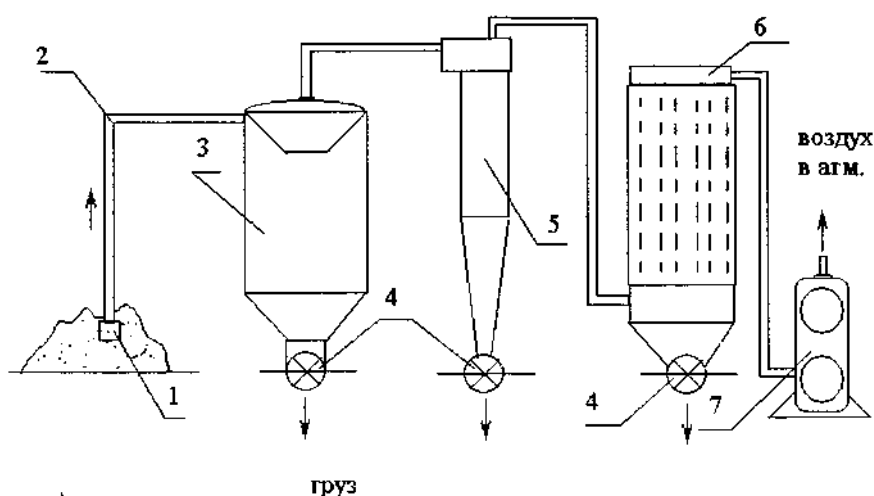


Рисунок 4.1 – Схема всасывающей установки

Груз забирается через всасывающий насадок (сопло) 1, по трубопроводу 2 поступает в отделитель 3, где собирается в нижней части. Далее воздух поступает в пылеулавливающий циклон 5 и фильтр тонкой очистки 6, и, пройдя вакуумный насос 7, выбрасывается в воздух.

Нагнетательная установка, рисунок 4.2.

Воздух от компрессора 1 поступает в питатель 2, подающий груз из бункера 3. Смесь воздуха и твёрдой фазы поступает в разгрузитель 4 и фильтр 5. Отчищенный от пыли воздух выбрасывается в атмосферу.

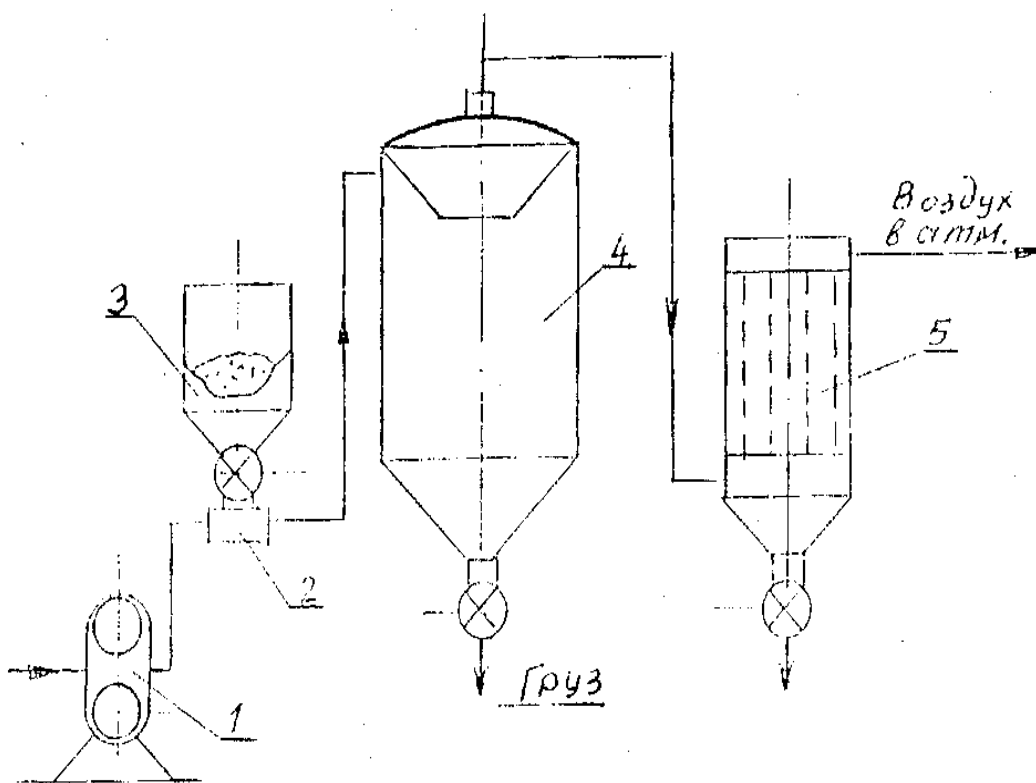


Рисунок 4.2 – Схема нагнетательной установки

5. Расчет систем пневматического транспортирования

5.1. Расчет всасывающих установок

Расчёт начинается с выбора вышеприведенных величин. Длину транспортного трубопровода и коэффициент концентрации смеси обычно задают.

Техническую производительность установки определяют по формуле:

$$Q_T = \frac{Q_C \cdot k \cdot k_1}{t}; \quad (5.7)$$

где: Q_C – среднесуточная производительность установки;

$k = 1,5$ – коэффициент неравномерности подачи материала в пневматическую линию в течение суток;

$k_1 = 1,25$ – коэффициент, учитывающий перспективы производительности;

t – время работы установки в сутки.

Надёжно транспортирующую скорость воздуха рассчитывают по следующей методике. Вначале определяют скорость витания для вертикального участка.

$$\frac{g}{b} = Re \cdot \frac{v}{d}; \quad (5.8)$$

$$Ra^{\circ} = \frac{Ar \cdot (1 - \beta)^{4.75}}{18 + 0.61 \sqrt{Ar \cdot (1 - \beta)^{4.75}}}; \quad (5.9)$$

$$Ar = \frac{d^3 \cdot g \cdot (\rho_{\partial} - \rho)}{\rho \cdot v^2}; \quad (5.10)$$

$$v = \frac{\mu^*}{\rho}; \quad (5.11)$$

условные обозначения и размерности величин, входящих в уравнения (5.7-5.11):

g_b – скорость витания газа в вертикальном участке трубопровода, м/с;

ν – кинематическая вязкость газа при температуре транспортирования, м²/с;

μ^* – динамическая вязкость газа при температуре транспортирования, кг/м·с;

d – эквивалентный диаметр частиц, м;

Ar, Re – критерии Архимеда и Рейнольдса;

B – объёмная доля твёрдой фазы;

$$\beta = \frac{V_T}{V_C} = \frac{V_T}{V_T + V_A} = \frac{\frac{P_O}{\rho_O}}{\frac{P_O}{\rho_O} + \frac{P_A}{\rho_A}} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_O}{\mu \cdot \rho_A}}; \quad (5.12)$$

g – ускорение силы тяжести; м/с²;

ρ – плотность газа при температуре транспортирования, кг/м³;

(для воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³).

Надёжно транспортирующая скорость воздуха для вертикального пневмотранспорта равна:

$$g = 2g_b; \quad (5.13)$$

А для горизонтального:

$$g_A = 2g; \quad (5.14)$$

Если трасса пневмотранспорта содержит вертикальные и горизонтальные участки, то транспортирующая скорость воздуха для всей трассы принимается по горизонтальному участку.

После выбора основных исходных величин расчёт проводят в следующем порядке:

1. Исходя из известной величины концентрации смеси μ и расчетной производительности Q_T , определяют секундный расход воздуха:

$$Q_B = \frac{Q_T}{3.6 \cdot \rho \cdot \mu}; \quad (5.15)$$

2. По полученному Q_B и рассчитанной скорости воздуха определяют диаметр трубопровода:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_B}{\pi \cdot \vartheta}}; \quad (5.16)$$

и округляют до ближайшего большего или меньшего, по действующему ГОСТу на трубы, диаметра [4.5]

3. По формуле $Q_B = F \cdot \vartheta$ подсчитывают окончательное значение Q_B (F -площадь сечения трубопровода) согласно округлённому диаметру, а по формуле:

$$\mu = \frac{Q_T}{\rho \cdot Q_B \cdot 3.6}; \quad (5.17)$$

пересчитывают μ .

4. По окончательному значению Q_B выбирают разгрузитель по таблице 4.1 и находят его сопротивление по формуле:

$$\delta_{\text{дв}} = \overline{m} \cdot Q_A^2; \quad (5.18)$$

Причём ЦРк выбирают при скорости воздуха до 12 м/с, а ЦР свыше 12 м/с.

Таблица 5.3 – Циклоны разгрузители ЦР и ЦРк

	№ разгрузителя	Производительность в м ³ /мин	Коэффици- ент \bar{m}
ЦР	5	5	2,075
	7,5	7,5	0,945
	10,0	10,0	0,552
	12,5	12,5	0,347
	15,0	15,0	0,240
	17,5	17,5	0,170
	20,0	20,0	0,135
	22,5	22,5	0,105
	25	25	0,086
	27,5	27,5	0,071
	30,0	30,0	0,06
ЦРк	2,5	2,5	4,970
	5	5	1,340
	7,5	7,5	0,590
	10,0	10,0	0,340
	12,5	12,5	0,210
	15,0	15,0	0,148
	17,5	17,5	0,106
	20,0	20,0	0,085
	22,5	22,5	0,065
	25,0	25,0	0,053
	27,5	27,5	0,044
	30,0	30,0	0,037

5. Определяют сопротивление пылеуловителей. Для самовытряхивающихся матерчатых всасывающих фильтров – принимают 60 мм вод. ст.

6. Находят величину общих потерь давления в сети:

$$\sum P_c = \left(\lambda \frac{\sum l_{\text{тот.}}}{d_T} + \sum \zeta_i \right) \cdot \frac{\rho \cdot g^2}{2g} (1 + k\mu) + \rho \cdot \mu \sum H + \Delta P_{\delta\lambda\zeta\alpha\delta} + \sum \Delta P_{\delta\lambda\zeta\alpha\delta}; \quad (5.19)$$

где: λ (12) = 0,02 коэффициент трения чистого воздуха о стенки;

$\Sigma L_{\text{прив}}$ - сумма для всех участков горизонтальных, вертикальных и эквивалентных отводов;

$\Sigma \zeta_i$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

k – принимается по табл. 4;

ΣH -сумма длин вертикальных участков;

$\Delta P_{\text{разг}}$ – потери давления на разгон, рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_{\text{разг}} = \hat{E}_d \cdot \mu \frac{\rho g^2}{2g}; \quad (5.20)$$

$K_p = 1 \div 2,1$ – коэффициент сопротивления разгонного участка.

Меньшее значение следует принимать для материалов с меньшей насыпной плотностью.

$\Sigma \Delta P_{\text{возд}}$ - суммарная потеря давления в разгрузителе и пылеуловителе.

Таблица 5.4 – Значения эквивалентных длин потерь давления в отводах и коленах с углом 90°

Вид материала	L _{эк} в м. при различных R/d _г			
	4	6	10	20
Пылевидный	4-8	5-10	6-10	8-10
Зерновой однородный	---	8-10	12-16	16-20
Мелкокусковой неоднородный	---	---	28-35	38-45
Крупнокусковой неоднородный	---	---	60-80	70-90

Таблица 5.5 – Ориентировочные предельные значения параметров для различных групп материалов

группа	Наименование группы	Скорость воздуха, м/сек	Концентрация, кг/кг	Коэффициент сопротивления, К
1.	Мелкоштучные	25-35	3-5	0,5-1,0
2.	Зернистые	16-25	3-8	0,5-0,7

3.	Порошкообразные и пылевидные	20-30	15-25	0,3-0,5
4.	Волокнистые	15-18	0,1-0,6	1,0-2,0

По рис. 5.1 с учётом общей потери давления в сети и расходу воздуха подбирают вентилятор и рассчитывают мощность его привода по формуле:

$$N = \frac{K_1 \cdot Q_B \cdot K_2 \cdot \sum P_C}{102 \cdot \eta}; \quad (5.21)$$

где: $K_1=1,15$ – коэффициент, учитывающий подсосы в сети;

$K_2=1,1$ – коэффициент неучтённых потерь в транспортном трубопроводе;

η - к.п.д., принимается в зависимости от выбранного типа воздуходувки.

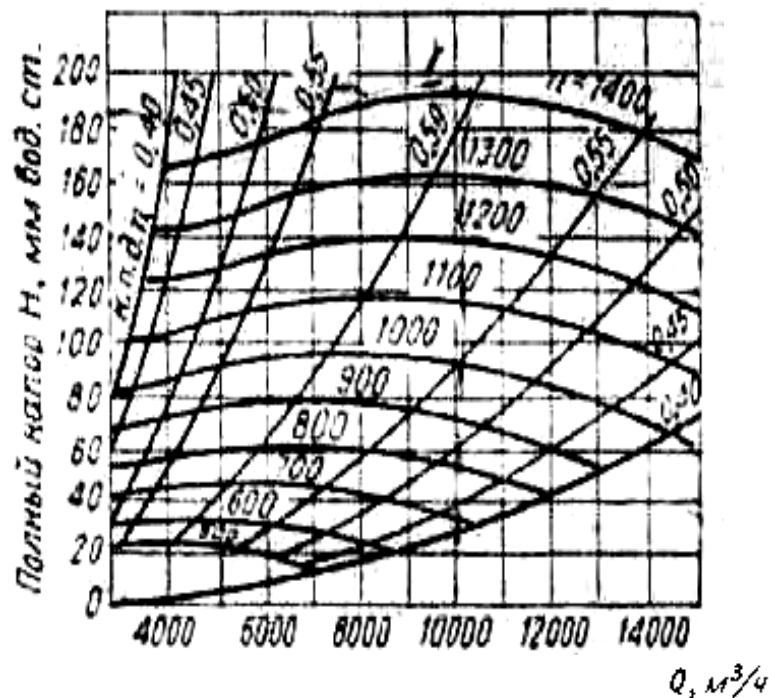


Рисунок 5.1 – Характеристика центробежного вентилятора

5.2. Расчёт нагнетательных установок

Техническую производительность установки определяется по формуле: Скорость воздуха рассчитывают по уравнению:

$$G = \alpha \sqrt{\rho_M} + B \cdot l_{\text{ПРИВ}}^2; \quad (5.22)$$

где: α – коэффициент, учитывающий крупность материала: для пылевидных материалов – $\alpha=10-16$, для зернистых – $\alpha=17-20$, для мелкоштучных – $\alpha=17-22$.

$B = (2\div 5) \cdot 10^{-5}$ – коэффициент, учитывающий изменение плотности воздуха;

ρ_m – плотность транспортируемого материала, кг/м³.

После выбора основных исходных данных расчёт проводим следующим образом. Определение Q_v и d_m осуществляем аналогично. Затем устанавливаем давление на покрытие потерь от трения:

$$P_H = \sqrt{1 + \beta \cdot S} \pm P_{\text{под}} ; \quad (5.23)$$

где:

$$S = \frac{\mu \cdot l_{\text{прив}} \cdot g^2}{d_T} ; \quad (5.24)$$

β – опытный коэффициент, зависящий от аргумента S (зависимость β от S показана на рис. 4.2);

$P_{\text{под}}$ – давление, необходимое для преодоления подъёма материала;

$$P_{\text{пд}} = \frac{H \cdot g \cdot \mu}{10^4} ; \quad (5.25)$$

При этом потребную мощность электродвигателя для привода компрессора определяют по формуле:

$$N = \frac{L_M \cdot Q_B}{104\eta} ; \quad (5.26)$$

L_M – теоретическая работа компрессора, отнесённая к 1 м³ засасываемого воздуха при изометрическом сжатии:

$$L_M = 2.3030 \cdot P_0 \cdot \lg \frac{P_M}{P_0} ; \quad (5.27)$$

где: P_M – давление создаваемое компрессором:

$$P_M = P_H \cdot \varepsilon + P_B; \quad (5.28)$$

$\varepsilon = 1,15 \div 1,25$ – коэффициент, учитывающий потери в загрузочном устройстве;

$P_B = 29430 \text{ н/м}^2$ – потери давления в подводящем трубопроводе;

$P_0 = 98100 \text{ н/м}^2$ – атмосферное давление;

η – КПД компрессора $= 0,55 \div 0,75$.

6. Пример расчёта систем пневмотранспорта

Задание на расчёт

Рассчитать пневмотранспортную установку для транспортировки порошкообразного плавикового шпата. Плотность $\rho_T = 3160 \text{ кг/м}^3$. Эквивалентный диаметр $d_{\text{экв.}} = 160 \text{ мм}$. Разгрузка ведётся из железнодорожной цистерны. Транспортная труба имеет два поворота по 90° каждый. Перепад высот $H = +10 \text{ м}$. Среднесуточная производительность $Q_c = 120 \text{ т/сут}$. Длина $L = 20 \text{ м}$.

6.1. Расчёт всасывающей установки

Техническую производительность установки определяем по формуле (5.7):

$$Q_T = \frac{Q_c \cdot k \cdot k_1}{t} = \frac{120000 \cdot 1,5 \cdot 1,25}{16} = 14062,5 \text{ кг/сут}$$

где: $Q_c = 120 \text{ т/сут} = 120000 \text{ кг/сут}$ – среднесуточная производительность установки;

$k = 1,5$ – коэффициент неравномерности подачи материала в пневматическую линию в течение суток;

$k_1 = 1,25$ – коэффициент, учитывающий перспективы производительности;

$t = 16$ час – время работы установки в сутки.

Надёжно транспортирующую скорость воздуха рассчитывают по следующей методике. Вначале определяют скорость витания для вертикального участка.

$$g_b = \text{Re} \cdot \frac{\nu}{d};$$

$$Ra = \frac{Ar \cdot (1 - \beta)^{4.75}}{18 + 0.61 \sqrt{Ar \cdot (1 - \beta)^{4.75}}};$$

$$\beta = \frac{V_T}{V_C} = \frac{V_T}{V_T + V_A} = \frac{\frac{P_O}{\rho_O}}{\frac{P_O}{\rho_O} + \frac{P_A}{\rho_A}} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_O}{\mu \cdot \rho_A}};$$

$$Ar = \frac{d^3 \cdot g \cdot (\rho_O - \rho)}{\rho \cdot \nu^2};$$

$$\nu = \frac{\mu^*}{\rho};$$

Условные обозначения и размерности величин, входящих в уравнения (5.7-5.14).

g_b – скорость витания газа в вертикальном участке трубопровода, м/с;

ν – кинематическая вязкость газа при температуре транспортирования, м²/с;

μ^* – динамическая вязкость газа при температуре транспортирования, кг/м·с;

$(\mu^* = 2 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м с});$

d – эквивалентный диаметр частиц, м; ($d = 160 \text{ мкм} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ м});$

μ – концентрация смеси (примем $\mu = 7 \text{ кг/кг});$

Ar, Re – критерии Архимеда и Рейнольдса;

B – объёмная доля твёрдой фазы;

P – плотность газа при температуре транспортирования, кг/м^3 ;

(для воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$);

$\rho_m = 3160, \text{ кг/м}^3$ – плотность транспортируемого материала.

по формуле (5.11):

$$v = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{1.2} = 1.67 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 / \text{с};$$

по формуле (5.10):

$$Ar = \frac{(1.6 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9.81 \cdot (3160 - 1.2)}{1.2 \cdot (1.67 \cdot 10^{-5})^2} = 379.26;$$

по формуле (5.12) $\beta = \frac{1}{1 + \frac{3160}{1.2 \cdot 7}} = 2.65 \cdot 10^{-3}$;

по формуле (5.9)

$$Ra = \frac{379.26 \cdot (1 - 2.65 \cdot 10^{-3})^{4.75}}{18 + 0.61 \sqrt{379.26 \cdot (1 - 2.65 \cdot 10^{-3})^{4.75}}} = 12.565;$$

отсюда по формуле (5.8) определяем скорость витания для вертикального участка:

$$v_b = 12.565 \cdot 1.67 \cdot 10^{-5} / 1.6 \cdot 10^{-4} = 1.311 \text{ м} / \text{с};$$

Надёжно транспортирующая скорость воздуха для вертикального пневмотранспорта равна:

$$v = 2v_b;$$

А для горизонтального:

$$\mathcal{G}_A = 2\mathcal{G};$$

Так как трасса пневмотранспорта содержит вертикальные и горизонтальные участки, то транспортирующая скорость воздуха для всей трассы принимается по горизонтальному участку.

$$\mathcal{G}_T = 2\mathcal{G} = 4\mathcal{G}_b = 4 \cdot 1.311 = 5.246 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Определяем секундный расход воздуха:

$$Q_B = \frac{Q_T}{3600 \cdot \rho \cdot \mu} = \frac{14062.5}{3600 \cdot 1.2 \cdot 7} = 0.465 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Определяем диаметр трубопровода:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_B}{\pi \cdot \mathcal{G}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.465}{\pi \cdot 5.246}} = 0.336 \text{ м} = 336 \text{ мм};$$

и округляем до ближайшего большего или меньшего, по действующему ГОСТу на трубы, диаметра 300мм по формуле (5.15):

$$Q_B = F \cdot \mathcal{G} = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot \mathcal{G} = \frac{3.14 \cdot 0.3^2}{4} \cdot 5.246 = 0.3708 \text{ м}^3 / \text{с} = 22.25 \text{ м}^3 / \text{мин};$$

Подсчитываем окончательное значение Q_B (F -площадь сечения трубопровода) согласно округлённому диаметру, а по формуле (5.17):

$$\mu = \frac{Q_T}{\rho \cdot Q_B \cdot 3600} = \frac{14062.5}{1.2 \cdot 0.3708 \cdot 3600} = 8.779 \text{ с} / \text{м}^3;$$

уточняем массовую концентрацию транспортируемого материала;

по окончательному значению Q_B выбираем разгрузитель ЦРК№22,5 (производительность 22,5 м³/мин $\bar{m} = 0.065$);

Сопротивление разгрузителя определяется по формуле (5.18):

$$\mathcal{D}_{\text{разг}} = \bar{m} \cdot Q_B^2 = 0.065 \cdot 22.25^2 = 32.18 \text{ с} / \text{м}^6;$$

Определяем сопротивление пылеуловителей. Для самовытряхивающихся матерчатых всасывающих фильтров принимают 60 мм вод. ст.=60кг/м²

Находим величину общих потерь давления в сети:

$$\sum P_C = \left(\lambda \frac{\sum l_{\text{идеа}}}{d_T} + \sum \zeta_i \right) \cdot \frac{\rho \cdot g^2}{2g} (1 + k\mu) + \rho \cdot \mu \sum H + \Delta P_{\text{разг}} + \sum \Delta P_{\text{отв}};$$

где: $\lambda = 0,02$ коэффициент трения чистого воздуха о стенки;

$\sum l_{\text{прив}}$ – сумма для всех участков горизонтальных, вертикальных и эквивалентных отводов;

$\sum \zeta_i$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

k – принимается по табл. 4.3 = 0,4;

$\sum H$ – сумма длин вертикальных участков = +10м;

$\Delta P_{\text{разг}}$ – потери давления на разгон, рассчитываются по формуле (5.20):

$$\Delta P_{\text{разг}} = \hat{E}_\delta \cdot \mu \frac{\rho g^2}{2g} = 2,0 \cdot 8,779 \frac{1,2 \cdot 5,246^2}{2 \cdot 9,81} = 29,55 \frac{\text{Па}}{\text{м}^2};$$

$K_p = 2,0$ – коэффициент сопротивления разгонного участка.

Поскольку труба имеет два поворота по 90° каждый с радиусами $R = 10 \cdot d_T = 3$ м, то каждый поворот эквивалентен сопротивлению 10 м горизонтального участка трубы.

Таким образом, получаем значение

$$\sum l_{\text{идеа}} = L + 2 \cdot 10 \text{ м} = 20 + 20 = 40 \text{ м};$$

$$\sum \zeta_i = \zeta_1 + \zeta_2 = 1 + 1 = 2, \quad \zeta_1 = 1, \quad \zeta_2 = 1;$$

ζ_1 – коэффициент местного сопротивления на входе в трубопровод;

ζ_2 – коэффициент местного сопротивления на входе в отделитель;

Общие потери давления составляет:

$$\sum P_C = \left(0,02 \frac{20}{0,3} + 2 \right) \cdot \frac{1,2 \cdot 5,246^2}{2 \cdot 9,81} (1 + 0,4 \cdot 8,779) + 1,2 \cdot 8,779 \cdot 10 + 29,55 + 92,18 = 262,5 \frac{\text{Па}}{\text{м}^2};$$

По рис. 4.1 с учётом общей потери давления в сети и расходу воздуха подбирают вентилятор и рассчитывают мощность его привода по формуле:

$$N = \frac{K_1 \cdot Q_B \cdot K_2 \cdot \sum P_C}{102 \cdot \eta}; \quad (6.29)$$

где: $K_1=1,15$ – коэффициент, учитывающий подсосы в сети;

$K_2=1,1$ – коэффициент неучтённых потерь в транспортном трубопроводе;

η – к.п.д., принимается в зависимости от выбранного типа воздуходувки.

По рис.4.1 подбираем вентилятор ЦП-30 №6 с частотой вращения $n=11200/6=1866,7$ об./мин. при $\eta=0,6$

Отсюда мощность привода: $N = \frac{1.15 \cdot 0.3708 \cdot 1.1 \cdot 262.5}{102 \cdot 0.6} = 2.0 \text{ кВт};$

Рассчитанные параметры

Средняя суточная производительность-	120 тонн/сутки
Техническая производительность-	14062,5кг/час
Время работы-	16 час/сутки
Длина трубопровода-	20 м
Число поворотов-	2 по 90°
Радиус поворотов трубопровода-	3 м
Перепад высот-	+10 м
Концентрация смеси-	8,779кг/кг
Скорость воздуха в трубопроводе-	5,246 м/с
Диаметр внутренний трубопровода-	300 мм
Расход воздуха -	22,25 м ³ /мин
Общие потери давления в сети -	262,5 кгс/м ²
Используемый вид вентилятора-	
(частота вращения вала 1866,7 об/мин, К.П.Д.-0,6)	ЦП-30 №6
Используемый тип циклона разгрузителя	

(производительность-22,5м³/мин)-
Требуемая мощность привода-

ЦРК №22,5
2,0 кВт

1.2.Расчёт нагнетательных установок

Пусть коэффициент концентрации смеси для пылевидных и порошкообразных материалов $\mu=20$ кг/кг. Техническую производительность определяем по формуле (5.7). $Q_T=9375$ кг/час – из расчёта всасывающей установки (с учётом работы 24 часа в сутки).

Скорость воздуха рассчитывают по уравнению (5.22):

$$\mathcal{G} = \alpha \sqrt{\rho_M} + B \cdot l_{\text{ПРИВ}}^2$$

где: α – коэффициент, учитывающий крупность материала (для порошкообразных материалов $\alpha=15$).

$B = (2 \div 5) \cdot 10^{-5}$ – коэффициент, учитывающий изменение плотности воздуха (принимаем $B=4 \cdot 10^{-5}$;

ρ_M – плотность транспортируемого материала, принимаем $3,16$ кг/м³.

$L_{\text{прив}}=40$ м (из расчёта всасывающей установки) – приведённая длина транспортирования.

Отсюда: $\mathcal{G} = 15 \sqrt{3.16} + 4 \cdot 10^{-5} \cdot 40^2 = 26.73 \text{ м} / \text{с};$

Определяем секундный расход воздуха:

$$Q_B = \frac{Q_T}{3600 \cdot \rho \cdot \mu} = \frac{9376}{3600 \cdot 1.2 \cdot 20} = 0.1085 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Диаметр трубопровода:

$$d_T = \sqrt{\frac{4Q_B}{\pi \mathcal{G}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.1085}{3.14 \cdot 26.73}} = 0.0719 \text{ м} = 71,9 \text{ мм};$$

По ГОСТу 335-67из основного ряда принимаем значение $d_T=80$ мм.

Уточняем секундный расход воздуха:

$$Q_B = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot g = \frac{3.14 \cdot 0.08^2}{4} \cdot 26.73 = 0.13436 \text{ м}^3 / \text{с} = 8,0616 \text{ м}^3 / \text{ч} ;$$

Отсюда пересчитываем μ :

$$\mu = \frac{Q_T}{3600 \cdot \rho \cdot Q_B} = \frac{9375}{3600 \cdot 0.13436 \cdot 1.2} = 16.15 \text{ м}^2 / \text{с}^2 ;$$

Устанавливаем давление на покрытие потерь от трения:

$$P_H = \sqrt{1 + \beta \cdot S} \pm P_{\text{под}} ;$$

где:

$$S = \frac{\mu \cdot l_{\text{вд}} \cdot g^2}{d_T} = \frac{16,15 \cdot 40 \cdot 26,73^2}{0,08} = 5,77 \cdot 10^6 ;$$

β – опытный коэффициент, зависящий от аргумента S ($\beta=10^{-6}$ по рис. 4.2)

$P_{\text{под}}$ – давление, необходимое для преодоления подъёма материала:

$$P_{\text{под}} = \frac{H \cdot g \cdot \mu}{10^4} = \frac{10 \text{ м} \cdot 1,2 \text{ м}^2 / \text{с}^2 \cdot 16,15 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{10^4 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2} = 0,01938 \text{ м}^2 / \text{с}^2 ;$$

Откуда:

$$P_H = \sqrt{1 + 10^{-6} \cdot 5,77 \cdot 10^6} + 0,01938 = 2,6213 \text{ м}^2 / \text{с}^2 ;$$

Потребная мощность электродвигателя для привода компрессора определяют по формуле (5.26):

$$N = \frac{L_M \cdot Q_B}{104\eta} ;$$

L_M – теоретическая работа компрессора, отнесённая к 1 м^3 засасываемого воздуха при изометрическом сжатии:

$$L_M = 23030 \cdot P_0 \cdot \lg \frac{P_M}{P_0} = 23030 \cdot 1 \text{ м}^2 / \text{с}^2 \cdot \lg \frac{338010 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{98100 \text{ м}^2 / \text{с}^2} = 12373 \text{ м}^2 / \text{с}^2 ;$$

где:

P_M – давление создаваемое компрессором:

$$P_M = P_H \cdot \varepsilon + P_B = 257150 \cdot 1,2 + 2943 = 338010 \text{ г / л}^2;$$

$\varepsilon = 1,15 \div 1,25$ – коэффициент, учитывающий потери в загрузочном устройстве (принимается равное 1,2);

$P_B = 29430 \text{ н/м}^2$ – потери давления в подводящем трубопроводе;

$P_0 = 98100 \text{ н/м}^2$ – атмосферное давление;

$P_H = 2,6213 \text{ кгс/м}^2 = 257150 \text{ н/м}^2$;

η – КПД компрессора (принимается $\eta = 0,65$).

откуда:
$$N = \frac{12373 \cdot 0,13436}{104 \cdot 0,65} = 25 \text{ кВт};$$

Рассчитанные параметры

Средняя суточная производительность	-120 тонн/сутки
Техническая производительность	-9375 кг/час
Время работы	-24 час/сутки
Длина трубопровода	-20 м
Число поворотов	-2 по 90°
Радиус поворотов трубопровода	-3 м
Перепад высот	- +10 м
Концентрация смеси	-16,15 кг/кг
Скорость воздуха в трубопроводе	-26,73 м/с
Диаметр внутренний трубопровода	-80 мм
Расход воздуха	-8,06 м ³ /мин
Теоретическая удельная работа компрессора	-12373 кгс/м ³
Давление создаваемое компрессором	-338,01 кПа
Потребная мощность электродвигателя	-25 кВт

Литература

1. Вдовенко О.П. Пневматический транспорт на предприятиях химической промышленности. М., 1966.
2. Малис А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов. М., 1969
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М., 1983. - 487с.
4. Марон Ф.П., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Минск, 1977. - 271с.
5. Тетеревков А.И., Печковский В.В. Оборудование заводов неорганических веществ и основы проектирования. Минск, 1981.- 335с.
6. Романов П.Г., Курочкина М.И., Моджерин Ю.Я., Смирнов Н.Н. Процессы и аппараты химической промышленности. М., 1989.- 559с.

Учебное издание

РАСЧЕТ УСТАНОВОК ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики

Составители

доцент, к.т.н. И.Д. Брус
доцент, к.т.н. Н.С.Тураев
доцент, к.т.н. А.С. Кантаев


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 05.05.2014. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ 1153 Тираж 10 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO
9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru