

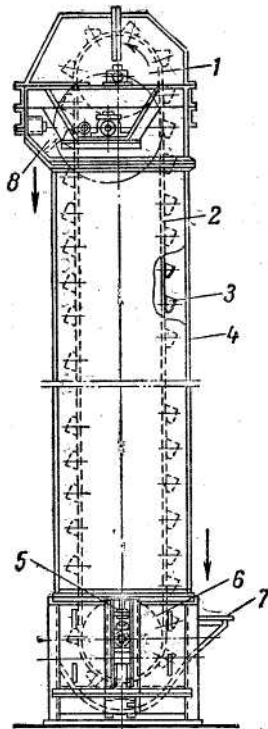
17 ат происходит отмывка NH_3 и CO , и образование концентрированного раствора углеаммонийных солей. Этот раствор насосом 26 возвращается в колонну синтеза, газообразный аммиак сжижается в конденсаторе 24 и также поступает в колонну синтеза.

Жидкая фаза по выходе из разлагателя 3 дросселируется и поступает в разлагатель 4, где при 2 ат и 130 °С происходит разложение оставшегося карбамата аммония. Газовая фаза направляется в абсорбер-конденсатор 20, полученный здесь раствор служит абсорбентом для газа первой ступени дистилляции.

Жидкая фаза из разлагателя 4 передается в газосепаратор 6, где при 0,3 ат и 113 °С частично испаряется влага, при этом остаток карбамата полностью разлагается с выделением NH_3 и CO_2 . Затем раствор направляется на вакуум-кристаллизацию в аппараты 7 и 8.

Кристаллы карбамида отделяются от раствора на центрифуге 10, подсушиваются в сушилке 18 и пневмотранспортом подаются в плавитель 15 на верх грануляционной башни 16. Полученные гранулы охлаждаются в кипящем слое (в нижней части башни) и передаются по конвейеру на расфасовку и упаковку.

Выделившиеся в сепараторе 6 газы конденсируются в абсорбере 21, орошаемом маточным раствором из центрифуги 10, который подается из сборника 12. Образующийся в аппарате 21 раствор служит абсорбентом газов дистилляции в конденсаторе-абсорбере 20.



1 – приводной барабан; 2 – лента; 3 – ковши; 4 – кожух; 5 – винт; 6 – натяжной барабан; 7 – воронка; 8 – приемный желоб.

Рисунок 2.1 – Элеватор

Цепи – в случае цепного элеватора – огибают две звездочки, расположенные также в верхнем и нижнем концах элеватора. Вал верхнего барабана (или звездочки) вращается в неподвижных подшипниках, тогда как вал нижнего барабана (или звездочки) установлен в подвижных подшипниках, которые при помощи винта 5 можно перемещать по вертикали, чем и достигается натяжение ленты или цепи.

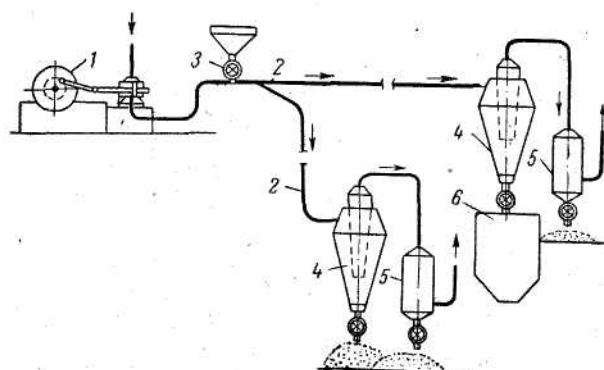
Все устройство заключено в кожух 4. В нижней части кожуха имеется воронка 7, через которую загружается перемещаемый материал. Далее материал захватывается ковшами и поднимается вверх; при переходе через верхний барабан ковши опрокидываются и материал под действием центробежной силы и силы тяжести высыпается в приемный желоб 8. Таким образом, все поднимающиеся ковши элеватора движутся нагруженными, а все опускающиеся – порожними.

Скребковые транспортеры. Скребковые транспортеры могут перемещать материал по трассе сложного очертания (кривая или ломаная линия) в горизонтальном, наклонном и вертикальном направлениях без перегрузки в местах пере-

В трубопроводе 2 создается разрежение и воздух всасывается в него вместе с перемещаемым материалом. Всасывание происходит через приемное сопло 1; далее смесь воздуха с материалом по трубопроводу 2 поступает в разгрузатель 3, в котором воздух отделяется от материала, поступающего затем в приемный бункер 6. Разгрузатели выполняются в виде циклонов. Из разгрузателя воздух "поступает в фильтр 4, где от воздуха отделяются частицы материала, не уловленные в разгрузателе. Из фильтра воздух отсасывается вакуум-насосом 5, который и создает необходимое разрежение в системе.

Всасывающие пневматические установки применяются для перемещения материала на расстояние до 100 м из разных мест к одной точке разгрузки. Установки применимы при разрежениях не более 0,5 – 0,6 ата.

Для перемещения материала на большие расстояния (до 300 м) из одного места по различным направлениям применяют **нагнетательные пневматические установки**, изображенные на рисунке 2.3.



1 – компрессор; 2 – трубопроводы; 3 – питатель; 4 – разгрузатели; 5 – фильтры; 6 – приемный бункер.

Рисунок 2.3 – Схема нагнетательной пневматической установки

Компрессор 1 нагнетает воздух в трубопровод 2, в который через специальный' питатель 5 подается перемещаемый материал. Смесь воздуха с материалом по трубопроводу 2 поступает в разгрузатель 4, где происходит отделение материала, после чего воздух через фильтр 5 отводится в атмосферу. Избыточное давление воздуха в нагнетательных установках достигает 3 – 4 атм.

Для перемещения материала на большие расстояния из разных мест к одной точке применяют смешанные пневматические установки (см. рис 2.4).

Питатель 1 непрерывно подает материал в загрузочную камеру 2, в нижней части которой расположена пористая перегородка 3. Сжатый воздух (избыточное давление 0,5 – 1,5 атм) подается под пористую перегородку. В загрузочной камере материал увлекается воздухом и поступает вместе с ним в транспортный трубопровод 4, по которому передается в разгрузатель 5.

Пневматические подъемники применяются для перемещения материала на высоту до 25 м (одновременно возможно перемещение материала в горизонтальном направлении). Их основным преимуществом является низкий расход энергии по сравнению с расходом не только для описанных выше пневматических установок, но и для механического транспорта. Для перемещения материалов в вертикальном направлении перспективно применение пневматических подъемников вместо элеваторов.

Для транспортирования карбамида на высоту 24 м одновременно с горизонтальным перемещением принимаем пневматический подъемник.

					КП ОПАХТ ХТЗ-991 УПК 00.00.00 ПЗ	14
		N				

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

4.1 Исходные данные к расчету

Для расчета используем следующие данные, указанные в задании на проектирование.

Таблица 4.1 – Исходные данные для проектирования

Производительность установки	G_M	135000 т/год
Диаметр частиц	-	2 ... 6 мм
Температура среды в трубопроводе	t_T	60 °С
Длина трассы транспортирования	$l_{пн}$	200 м
Число плавных поворотов	$n_{пв}$	5
Отметка загрузки карбамида в трубопровод	h_1	+1 м
Отметка выгрузки карбамида в трубопровод	h_2	+ 25 м

Для расчетов согласно указанию в задании на проектирование примем недостающие исходные данные.

Таблица 4.2 – Дополнительные исходные данные для проектирования

Давление на выходе из пневмопровода	$P_{вых}$	0,12 МПа
Коэффициент формы частиц	ψ	0.9
Фракционный состав частиц карбамида	d_i, x_i	
	2 мм	20%
	4 мм	60%
	6 мм	20%
Транспортирующий агент		подогретый атмосферный воздух
Условный диаметр трубопровода	d_y	170 мм

C – константа.

Согласно справочным данным [3, табл. IV]

$$\mu_0 = 17.3 \times 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

$$C = 124$$

Поставляя

$$\mu_{г60} = 17.3 \times 10^{-6} \times \frac{273 + 124}{333 + 124} \left(\frac{333}{273} \right)^{3/2} = 2,024 \times 10^{-5} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

Для учета изменения вязкости в зависимости от давления используется вспомогательная величина [3, табл. IV]

$$\Delta\mu_{г60} := 1.85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2 \cdot \text{МПа}}$$

Плотность воздуха при нормальных условиях [3, табл. IV]

$$\rho_0 := 1.293 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Эквивалентный диаметр частиц

$$d_3 := \frac{1}{\sum \left(\frac{V_x}{Vd} \right)} = \frac{1}{\frac{0.2}{2} + \frac{0.6}{4} + \frac{0.2}{6}} = 3.53 \text{ мм}$$

Расход карбамида

$$G_m = \frac{135000}{365.2 \times 24 \times 3600} = 4,278 \text{ кг/с}$$

4.4 Расчет режимных параметров на выходе из трубопровода

Все расчетные формулы и зависимости взяты из [4]. Рассчитаем скорость витания частиц наибольшего диаметра (6 мм). Критерий Архимеда равен

$$Ar := \frac{gd_3^3(\rho_{ч} - \rho_{г}) \cdot \rho_{г}}{\mu_{г}^2}$$

где $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

$d_3 = 0,006 \text{ м}$ – эквивалентный диаметр частиц;

Объемный расход материала

$$V_M := \frac{G_M}{\rho_{\text{ч}}} = \frac{4,278}{760} = 5.629 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Значение подачи

$$\lambda := \frac{V_M}{V_{\Gamma}} = \frac{5.629 \times 10^{-3}}{0.195} = 0.0288$$

Определим порозность транспортируемого слоя на выходе из трубопровода.

Критерий Архимеда

$$Ar := \frac{g d_{\text{э}}^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\Gamma}) \cdot \rho_{\Gamma}}{2 \mu_{\Gamma}} = \frac{9.81 \times 0.00353^3 \times (760 - 1.252) \times 1.252}{(5.4286 \times 10^{-5})^2} = 1.3898 \times 10^{-5}$$

Критерий Рейнольдса

$$Re := \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\Gamma}}{\psi \cdot \mu_{\Gamma}} = \frac{8.61 \times 0.00353 \times 1.252}{0.9 \times 5.4286 \times 10^{-5}} = 778$$

Для определения порозности воспользуемся формулой

$$Re = \frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon \cdot (1 + \lambda)} \cdot \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.61 \cdot \sqrt{(Ar \cdot \varepsilon^{4.75})}}$$
$$778 = \frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon \times (1 + 0.0288)} \cdot \frac{1.3898 \times 10^{-5} \times \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.61 \times \sqrt{1.3898 \times 10^{-5} \times \varepsilon^{4.75}}}$$

Откуда $\varepsilon = 0.9317$, что соответствует достаточно разреженному слою материала.

Оценим скорость и коэффициент скольжения для рассматриваемого сечения.

Скорость движения частиц равна

$$\omega_{\text{ч}} := \lambda \cdot \frac{\omega_{\Gamma}}{1 - \varepsilon} = 0,0288 \times \frac{8.61}{1 - 0,9317} = 3.63 \text{ м/с}$$

Скорость скольжения агента

$$\omega_{\text{с}} := \omega_{\Gamma} - \varepsilon \cdot \omega_{\text{ч}} = 8.61 - 0,9317 \times 3,63 = 5,22 \text{ м/с}$$

Коэффициент скольжения

					КП ОПАХТ ХТЗ-991 УПК 00.00.00 ПЗ	
						20
		N				

$$Re := \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\Gamma}}{\psi \cdot \mu_{\Gamma}} = \frac{7.38 \times 0.00353 \times 1.461}{0.9 \times 9.1286 \times 10^{-5}} = 463$$

Для определения порозности воспользуемся формулой

$$Re = \frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon \cdot (1 + \lambda)} \cdot \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.61 \cdot \sqrt{(Ar \cdot \varepsilon^{4.75})}}$$

$$463 = \frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon \times (1 + 0.0336)} \frac{5.7325 \times 10^4 \times \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.61 \times \sqrt{5.7325 \times 10^4 \times \varepsilon^{4.75}}}$$

Откуда $\varepsilon = 0.9212$, что соответствует достаточно разреженному слою материала.

Оценим скорость и коэффициент скольжения для рассматриваемого сечения. Скорость движения частиц равна

$$\omega_{\text{ч}} := \lambda \cdot \frac{\omega_{\Gamma}}{1 - \varepsilon} = 0,0336 \times \frac{7.38}{1 - 0,9212} = 3.15 \text{ м/с}$$

Скорость скольжения агента

$$\omega_{\text{с}} := \omega_{\Gamma} - \varepsilon \cdot \omega_{\text{ч}} = 7.38 - 0,9212 \times 3,15 = 4,48 \text{ м/с}$$

Коэффициент скольжения

$$k_{\text{с}} := \frac{\omega_{\Gamma}}{\omega_{\text{ч}}} = \frac{7.38}{3.15} = 2.37$$

что лежит в рекомендуемых пределах.

4.6 Определение потерь напора

Определим составляющие потери напора. Расчетная длина трассы

$$H_1 := l_{\text{пн}} + 5 \cdot l_{\text{э}}$$

где $l_{\text{э}} = 15 d_{\text{э}} = 15 \times 170 = 2,55 \text{ м}$ – эквивалентная длина местных сопротивлений. Итого

$$H_1 = 200 + 5 \times 2.55 = 212.75 \text{ м}$$

Статический напор

$$\Delta P_{\text{ст}} := H_{\text{под}} \cdot g \cdot [(1 - \varepsilon) \cdot \rho_{\text{ч}} + \varepsilon \cdot \rho_{\Gamma}]$$

где $H_{\text{под}} = h_2 - h_1 = 25 - 1 = 24 \text{ м}$ – высота подъема. Подставляя

Общие потери напора в пневмопроводе равны

$$\begin{aligned}\Delta P &:= \Delta P_{\text{CT}} + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 = \\ &= 14400 + 1575 + 18562 + 593 = 35130 \text{ Па} = 0,0351 \text{ МПа}\end{aligned}$$

Давление на входе в пневмопровод

$$P_{\text{ВХ}} := P_{\text{ВЫХ}} + \Delta P = 0,12 + 0,0351 = 0,1551 \text{ МПа}$$

Среднее давление

$$P_{\text{CP}} := \frac{P_{\text{ВХ}} + P_{\text{ВЫХ}}}{2} = \frac{0,1551 + 0,1200}{2} = 0,1376 \text{ МПа}$$

Отклонение от ранее принятого

$$\frac{P - P_{\text{CP}}}{P} = \frac{0,1400 - 0,1376}{0,1200} = 0,0174 = 1,74\%$$

Что является допустимым. Общее время транспортировки материала

$$t := \frac{l_{\text{ПН}}}{\omega_{\text{Ч}}} = \frac{200}{3,15} = 63,5 \text{ с}$$

4.7 Расчет режимных параметров в начале участка

Давление в пневмопроводе на входе

$$P = P_{\text{ВХ}} = 0,1551 \text{ МПа}$$

Вязкость газа

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Г}} &:= \mu_{\text{Г60}} + \Delta\mu_{\text{Г60}} \cdot (P - P_0) = \\ &= 2,024 \times 10^{-5} + 1,85 \times 10^{-3} (0,1551 - 0,1013) = 1,1929 \times 10^{-4} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}\end{aligned}$$

Плотность газа

$$\rho_{\text{Г}} = \rho_0 \frac{P T_0}{P_0 T_1} = 1,293 \times \frac{0,1551 \times 273}{0,1013 \times 333} = 1,619 \text{ кг/м}^3$$

Объемный расход воздуха

$$V_{\text{Г}} := \frac{G_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}}} = \frac{0,245}{1,619} = 0,151 \text{ м}^3/\text{с} = 544 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость воздуха

что лежит в рекомендуемых пределах.

4.8 Оценка критической скорости крупных частиц

Оценим критическую скорость для самых крупных частиц диаметром 6 мм.

Критерий Архимеда

$$Ar := \frac{gd_{\text{ч}}^3(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}}) \cdot \rho_{\text{г}}}{2\mu_{\text{г}}} = \frac{9.81 \times 0.006^3 \times (760 - 1.619) \times 1.619}{(1.1929 \times 10^{-4})^2} = 1.8721 \times 10^5$$

Критерий Рейнольдса

$$Re_{\text{кр}} := \frac{Ar}{1400 + 5.22\sqrt{Ar}} = \frac{1.8721 \times 10^5}{1400 + 5.22 \times \sqrt{1.8721 \times 10^5}} = 50$$

Критическая скорость

$$\omega_{\text{кр}} := \frac{Re_{\text{кр}} \cdot \mu_{\text{г}} \cdot \psi}{\rho_{\text{г}} \cdot d_{\text{ч}}} = \frac{50 \times 1.1929 \times 10^{-4} \times 0.9}{1.619 \times 0.006} = 0.556 \text{ м/с}$$

Таким образом, при начальной скорости газа 6.66 м/с транспорт частиц диаметром 6 мм будет обеспечен.

4.9 Итоговые данные расчета пневмопровода

Сеедем полученные данные в таблицу.

Таблица 4.3 – Режимные параметры пневмотранспорта

Сечение пневмопровода	Давление P, МПа	Скорость воздуха, м/с	Порозность слоя, ε	Подача λ, м ³ /м ³	Расход воздуха V, м ³ /ч
Вход в пневмопровод	0,1551	6,66	0,9137	0,0373	544
Середина участка	0,1376	7,38	0,9212	0,0336	602
Выход из пневмопровода	0,1200	8,61	0,9317	0,0288	703

$$\Delta t_m = \Delta t_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Определим среднюю разность температур

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2.3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{35 - 25}{2.3 \times \lg \frac{35}{25}} = 29,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тепловая нагрузка теплообменника

$$Q = G_r c_r (t_1^x - t_1)$$

где c_r – теплоемкость воздуха при постоянном давлении. Согласно справочным данным $c_r = c_p = 1,01 \text{ кДж} / (\text{кг} \times \text{К})$ [3, табл. IV]. Тогда

$$Q = 0.245 \times 1,01 \times (65 - 25) = 9.90 \text{ кДж/с} = 9.90 \text{ кВт}$$

Расход горячей воды

$$G_{гв} = \frac{Q}{c_v (t_2 - t_2^x)}$$

где $c_v = 4.2 \text{ кДж} / (\text{кг} \times \text{К})$ – теплоемкость воды. Подставляя, получаем

$$G_{гв} = \frac{9,90}{4,2 \times (90 - 65)} = 0,0942 \text{ кг/с} = 339 \text{ кг/ч} = 339 \text{ л/ч}$$

Требуемая поверхность теплообмена определяется по формуле:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}}$$

где K – коэффициент теплоотдачи. На основании опытных данных, полученных для различных условий работы, примем коэффициент теплопередачи K [2, стр. 603]:

$$K = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Тогда

$$F = \frac{9900}{150 \times 29,7} = 2,22 \text{ м}^2$$

Выбираем стандартный аппарат [5, табл. II.3], имеющий поверхность теплообмена $F = 2,50 \text{ м}^2$ при длине труб $L = 2 \text{ м}$. Диаметр кожуха $D = 159 \text{ мм}$, $d_{тр} = 20 \times 2$, число ходов -1 , общее число труб 19. Запас поверхности теплообмена:

$$D = (2.5 - 2.22) / 2.22 = 0,12 = 12\%$$

Δp_n – потери давления в нагнетательной линии; воздух проходит через теплообменник, гидравлическое сопротивление которого примем 20% от p_2 :
 $\Delta p_n = 0,1551 \times 0,2 = 0,031$ МПа;

ω – скорость воздуха на выходе из сети, $\omega = \omega_{вх} = 6,66$ м/сек;

$p_{ст.н.}$ и $p_{ст.вс.}$ – статические давления непосредственно нагнетания и всаса, принимаем расположение теплообменника и вентилятора на отметке +1 м, тогда
 $p_{ст.н.} = p_{ст.вс.} = 0$ МПа;

ρ – плотность воздуха при рабочих условиях, согласно предыдущим расчетам $\rho = 1.619$ кг/м³.

Определим перепад давления

$$\Delta p = (0,1551 \times 10^6 - 0,1800 \times 10^6) + (0 \times 10^6 + 0,031 \times 10^6) + \frac{6,66^2 \times 1,619}{2} = 6130 \text{ Па}$$

Определим объемную производительность

$$V = G/\rho = 0.245 / 1.619 = 0.151 \text{ м}^3/\text{с}$$

По объемной производительности и по избыточному давлению по справочным данным [5, табл. I.9] подбираем газодувку ТВ-25-1,1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Синева К. Н., Рябов В. Ф., Аникин В. Н. Производство карбамида //под ред. В. В. Лебедева, М: Химия, 1970 – 232 с.
2. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для ВУЗов, М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с.
3. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: Химия, 1970. – 624 с.
4. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» «Расчет пневмотранспорта зернистых материалов» Свидченко А. И.
5. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.