

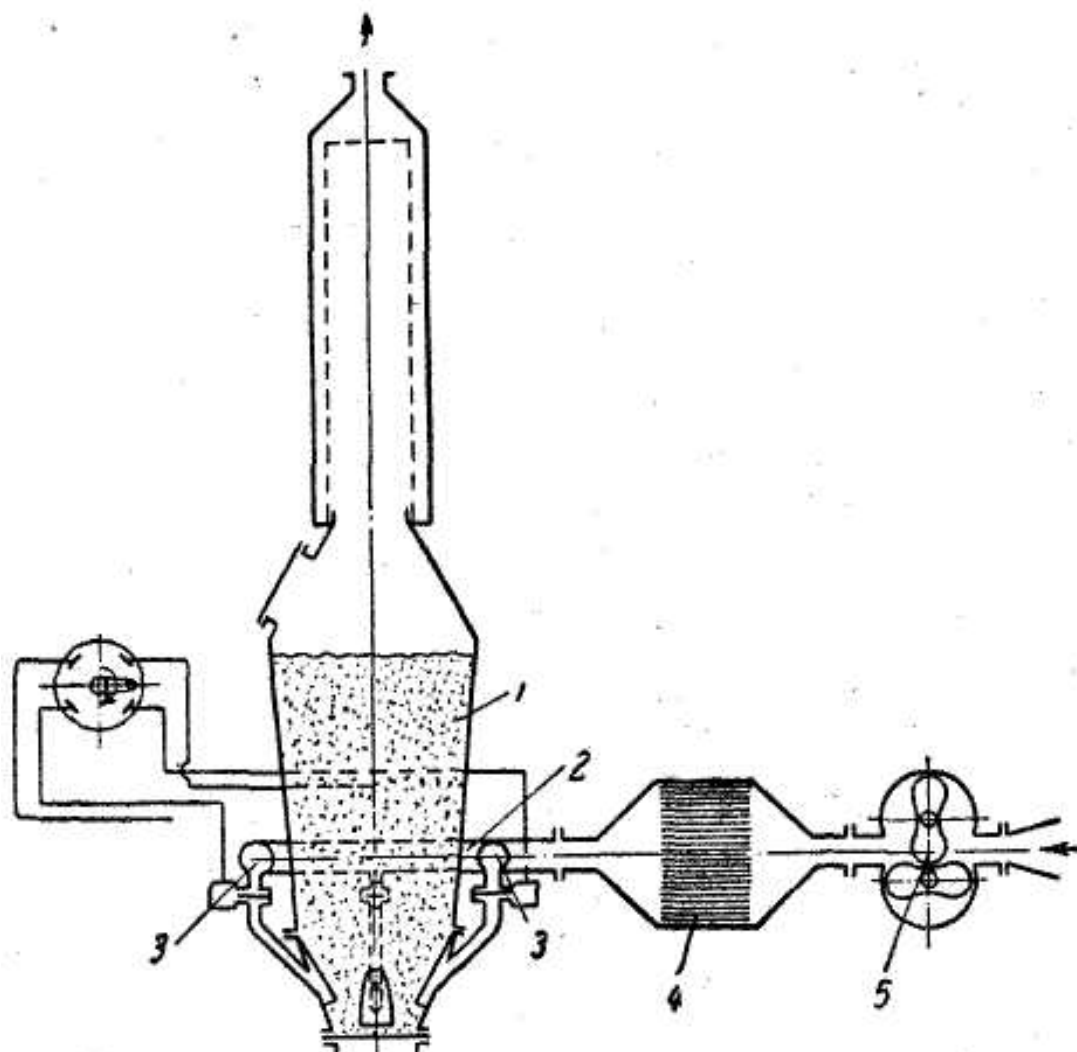
2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ

Активированный уголь. Активированный уголь, получают из ископаемых или древесных углей удалением смолистых веществ и созданием разветвленной сети пор. Обладает высокоразвитой поверхностью, благодаря этому поглощает (адсорбирует) многие вещества (особенно хорошо углеводороды и их производные, слабее - спирт, аммиак, воду и другие полярные вещества). Тонкопористый активированный уголь получают термическим разложением (обугливанием без доступа воздуха) некоторых полимеров. Тонкопористый активированный уголь хорошо адсорбирует даже при малых концентрациях или небольших парциальных давлениях пара. Для широкопористого активированного угля характерно явление капиллярной конденсации.

Активированный уголь применяют в противогазовой технике - как адсорбенты и носители каталитических и хемосорбционно-активных добавок; в промышленности - для улавливания ценных органических растворителей, для удаления из водных растворов органических примесей; в высоковакуумной технике - для создания сорбционных насосов; в медицине - для поглощения вредных веществ из желудочно-кишечного тракта, в частности при диспепсии, метеоризме, пищевых отравлениях, отравлениях алкалоидами и солями тяжёлых металлов

Воздух. В качестве сушильного агента используется воздух. Воздух – естественная смесь газов, главным образом азота и кислорода, составляющая земную атмосферу. Сухой воздух состоит из следующих газов (% по объёму): азота N_2 78,09; кислорода O_2 20,95; аргона Ar 0,93; углекислого газа CO_2 0,03. Воздух содержит очень небольшие количества остальных инертных газов, а также водорода H_2 , озона O_3 , окислов азота, окиси углерода CO, аммиака NH_3 , метана CH_4 , сернистого газа SO_2 и др. Воздух нетоксичен, не взрывоопасен. Коррозионных свойств не имеет.

						9
		N				



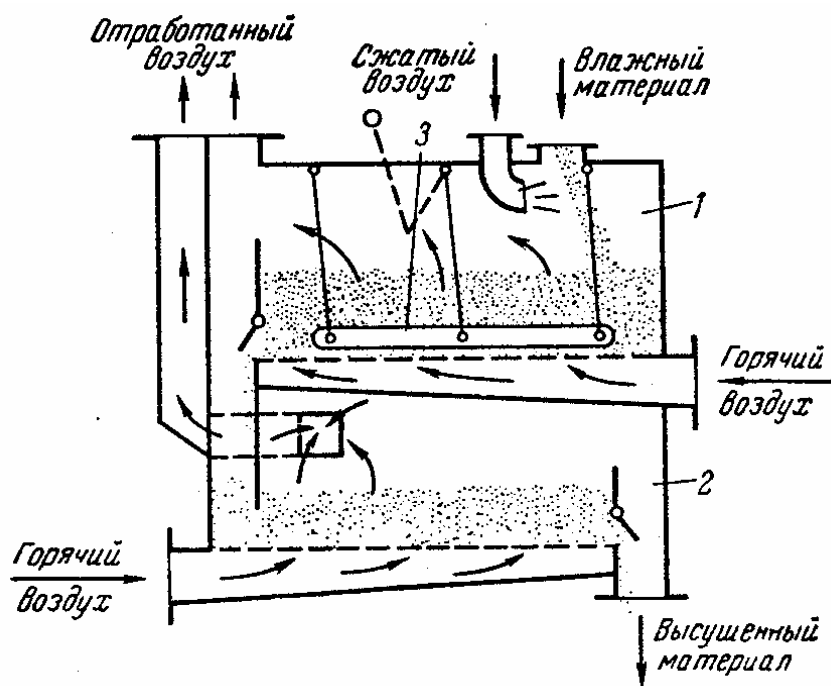
1 – корпус; 2 – наружный коллектор; 3 – газораспределительная головка; 4 – подогреватель; 5 – газодувка.

Рисунок 3.1 – Сушилка периодического действия с импульсным кипящим слоем

Сушилка имеет слегка конический, расширяющийся кверху корпус 1 с наружным коллектором 2, к которому равномерно по окружности присоединены газораспределительные головки 3. Сушильный агент подается газодувкой 5 через подогреватель 4. При введении сушильного агента импульсами (длительность подачи примерно 1 сек) высушиваемый материал переходит в состояние кипящего слоя, но после прекращения подачи газа слой быстро становится неподвижным. При таком ударном воздействии происходит быстрое перераспределение пустот и каналов в слое, благоприятствующее испарению влаги из высушиваемого материала. Продолжительность сушки и расход энергии, при сушке в импульсном кипящем слое значительно ниже, чем в вакуум-сушилках.

газов по мере их подъема улучшается распределение частиц по крупности и уменьшается унос пыли. Это, в свою очередь, повышает равномерность нагрева (более мелкие частицы, поднимающиеся выше, находятся в области более низких температур) и позволяет уменьшить высоту камеры.

Многокамерные сушилки состоят из двух и более камер, через которые последовательно движется высушиваемый материал. Камеры располагаются либо рядом, либо одна над другой (см. рис. 2.3).



1 — верхняя камера; 2 — нижняя камера; 3 — разрыхлитель.

Рисунок 3.3 – Двухкамерная сушилка с кипящим слоем:

Горячий воздух с большой скоростью (60—70 м/сек) подается через отверстия решетки, расположенной в нижней части каждой камеры. Материал поступает в верхнюю камеру 1, подсушивается в ней и пересыпается в нижнюю камеру 2, из которой удаляется высушенный материал. Воздух подается в каждую камеру отдельно и отводится из камер в общий коллектор для очистки от пыли, после чего выбрасывается в атмосферу. Над решеткой верхней камеры установлен механический разрыхлитель 3 для комкующегося высушиваемого материала.

Многокамерные сушилки более сложны по конструкции (и соответственно в эксплуатации), чем однокамерные, требуют больших удельных расходов сушиль-

За счет противотока материала и сушильного агента достигается более высокая степень насыщения газа влагой, но высушенный материал соприкасается с наиболее горячим теплоносителем. Для регулирования температуры нагрева в слой материала в секциях помещают змеевики. В таких сушилках выгрузка высушенного материала производится над слоем через переточные патрубки.

Чтобы избежать чрезмерного увеличения гидравлического сопротивления, высоту кипящего слоя в сушилках непрерывного действия поддерживают в пределах 400-700 мм (в зависимости от свойств высушиваемого материала).

Для сушки небольших количеств различных продуктов применяют периодически действующие сушилки с кипящим слоем. В этих аппаратах эффективно используют подачу сушильного агента импульсами, вызывающими кратковременное псевдооживление материала. Таким способом удается достичь равномерной сушки материалов, склонных к слипанию, и кристаллических материалов без значительного истирания их частиц.

На основании приведенных сведений для высушивания активированного угля принимаем сушилку, изображенную на рисунке 2.4.

3.3 Выбор очистительного устройства

Выбор аппарата для очистки газа зависит от многих факторов. Главными из них являются: 1) свойства пыли (сухая, липкая, гигроскопическая, волокнистая и т. д.) и размеры ее частиц, 2) влажность газа и начальное содержание в нем пыли, 3) требуемая степень очистки газа. Используя рекомендации [2, стр 344] принимаем батарейный циклон для грубой очистки сушильного агента и рукавный фильтр для тонкой очистки.

Батарейный циклон состоит из многих параллельно работающих циклонных элементов, смонтированных в общем корпусе (см. рис. 3.5).

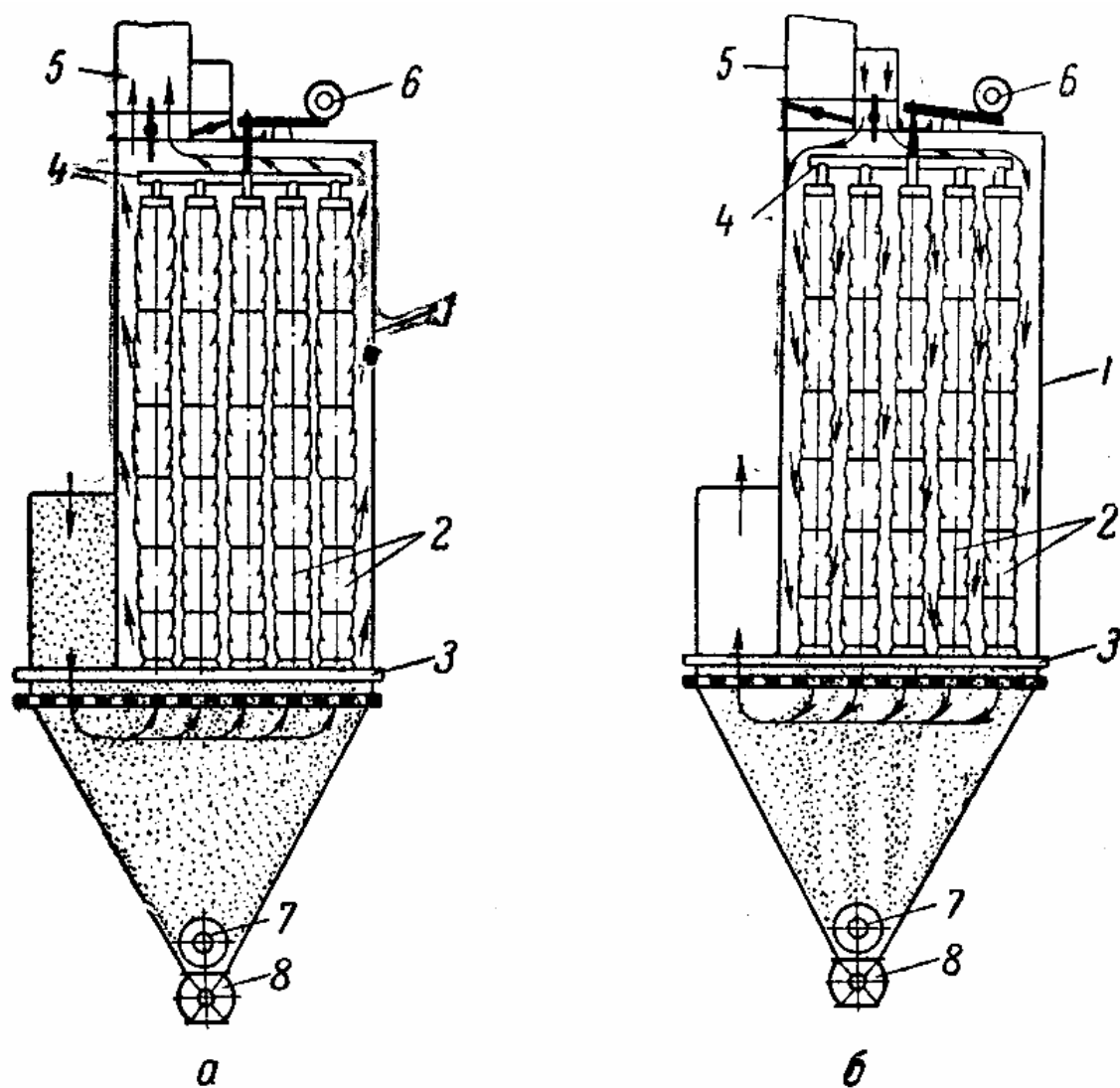
Запыленный газ, поступая в корпус 1, входит в газораспределительную камеру 2, ограниченную трубными решетками, в которых герметично укреплены циклонные элементы 3. Очищенный газ удаляется через выхлопные трубы элементов в общую камеру 4, пыль собирается в коническом днище циклона (пылесборник 5).

		N							15

Газ поступает в элемент не по касательной, а сверху – через кольцевое пространство между корпусом 1 и выхлопной трубой 3. Поток газа сообщается вращательное движение при помощи направляющего аппарата 2, выполненного в виде винтообразных лопастей (винта) или розетки с наклонными лопатками. Такой направляющий аппарат установлен в кольцевом пространстве на входе газа в каждый элемент.

Батарейные циклоны изготавливаются с прямоугольным корпусом и состоят из одной или нескольких секций.

Для тонкой очистки газа выбираем рукавный фильтр



а – очистка газа; б – встряхивание и обратная продувка рукавов,
 1 – корпус; 2 – тканевые мешки; 3 – трубная решетка; 4 – рама; 5 – выхлопная труба;
 6 – кулачковый механизм; 7 – шнек; 8 – секторный затвор.

Рисунок 3.7 – Рукавный фильтр

		N							17

4.3 Определение расхода воздуха, скорости газов и диаметра сушилки

Все расчетные формулы и зависимости взяты из [4]. Определим расход влаги, удаляемой из высушиваемого материала

$$W := G_M \cdot \frac{\omega_H - \omega_K}{1 - \omega_H} = 21600 \times \frac{0,28 - 0,0002}{1 - 0,28} = 8390 \text{ кг/ч}$$

Уравнение внутреннего теплового баланса идеальной сушилки [4, ф-ла X.11]

$$\Delta := c_{\text{вл}} \cdot t_H + q_{\text{доп}} - (q_T + q_M + q_{\text{п}})$$

где Δ – разность между удельным приходом и расходом тепла непосредственно в сушильной камере;

$c_{\text{вл}}$ – теплоемкость влаги во влажном материале при температуре t_H , принимаем испаряемую влагу – воду, тогда $c_M = 4,2 \text{ кДж/(кг К)}$ [3, табл. XXXIX];

$q_{\text{доп}}$ – удельный дополнительный подвод тепла в сушилку, при работе по нормальному сушильному варианту $q_{\text{доп}} = 0 \text{ кДж/кг}$;

q_T – удельный расход тепла в сушилке с транспортными средствами, для проектируемой сушилки $q_T = 0 \text{ кДж/кг}$;

$q_{\text{п}}$ – удельные потери тепла в окружающую среду, принимаем 0,93% от тепла, затрачиваемого на испарение 1 кг влаги, $q_{\text{п}} = \varepsilon \cdot r \times 1 \text{ кг} = 0,0093 \times 2440 \times 1 \text{ кг} = 22,6 \text{ кДж/кг}$, где $r = 2440 \text{ кДж/кг}$ – теплота испарения воды при t_H [3, табл. LIV];

q_M – удельный расход тепла в сушилке с высушиваемым материалом

$$q_M := \frac{G_M \cdot c_M \cdot (t_K - t_H)}{W} = \frac{21600 \times 1,3 \times (50 - 20)}{8390} = 100 \text{ кДж/кг}$$

Соответственно

$$\Delta = 4,2 \times 20 + 0 - (0 + 100 + 22,6) = -39,0 \text{ кДж/кг влаги}$$

По диаграмме I-x по известным параметрам наружного воздуха ($t_0 = 23,7 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_0 = 67\%$) находим влагосодержание x_0 и энтальпию I_0 воздуха, поступающего в калорифер для подогрева и затем в сушилку

$$x_0 = 0.014$$

$$I_0 = 60 \text{ кДж/кг}$$

		N				21

Для построения рабочей линии на диаграмме необходимо знать как минимум две точки. Одна – параметры сушильного агента на входе в сушилку. Для определения координат второй точки зададимся произвольным значением x и определим значение I . Пусть $x = 0,1$ кг влаги / кг сухого воздуха. Тогда

$$I = 210 - 39,0 \times (0,1 - 0,014) = 196 \text{ кДж/кг}$$

По полученным данным построим рабочую линию. Находим точку Пересечения с изотермой $t = t_{\text{ВЫХ}} = 60$ °С и определяем параметры отработанного сушильного агента:

$$x_{\text{ВЫХ}} = 0,052 \text{ кг/кг,}$$

$$I_{\text{ВЫХ}} = 200 - 39,0 \times (0,052 - 0,014) = 198 \text{ кДж/кг}$$

Расход воздуха на сушку

$$L := \frac{W}{x_{\text{ВЫХ}} - x_{\text{ВХ}}} = \frac{8390}{0,052 - 0,014} = 2,54 \times 10^5 \text{ кг/ч}$$

Средняя температура воздуха в сушилке

$$t_{\text{ср}} := \frac{t_{\text{ВХ}} + t_{\text{ВЫХ}}}{2} = \frac{160 + 60}{2} = 110 \text{ °С}$$

Среднее влагосодержание воздуха в сушилке

$$x_{\text{ср}} := \frac{x_{\text{ВХ}} + x_{\text{ВЫХ}}}{2} = \frac{0,014 + 0,052}{2} = 0,033$$

Средняя плотность воздуха

$$\rho_{\text{ср}} := \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}}$$

где ρ_0 – плотность воздуха при нормальных условиях (0 °С, 760 мм. рт. ст.), $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$ [3, табл. IV];

T_0 – температура нормальных условий, $T_0 = 273 \text{ К}$;

Соответственно

$$\rho_{\text{ср}} = 1,293 \times \frac{273}{273 + 110} = 0,922 \text{ кг/м}^3$$

Плотность паров

$$\rho_{\text{п}} := \rho_{\text{п}0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}}$$

		N				23

$$Ar := \frac{g \cdot d_3^3 \cdot \rho_{cp} \cdot \rho_{ч}}{2 \mu_{cp}} = \frac{9.81 \times 0.003^3 \times 0.922 \times 1450}{(2.25 \times 10^{-5})^2} = 6.98 \times 10^5$$

Критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{6.98 \times 10^5}{1400 + 5.22 \sqrt{6.98 \times 10^5}} = 121$$

Тогда скорость начала псевдооживления

$$\omega_{пс} := \frac{Re \cdot \mu_{cp}}{\rho_{cp} \cdot d_3} = \frac{121 \times 2.25 \times 10^{-5}}{0.922 \times 0.003} = 0.99 \text{ м/с}$$

Верхний предел допустимой скорости

$$\omega_{св} := \frac{\mu_{cp}}{d_{ч} \cdot \rho_{cp}} \cdot \frac{Ar}{18 + 0.575 \sqrt{Ar}} = \frac{2.25 \times 10^{-5}}{0.003 \times 0.922} \frac{6.98 \times 10^5}{18 + 0.575 \sqrt{6.98 \times 10^5}} = 11.4 \text{ м/с}$$

Предельное число псевдооживления

$$K_{пр} := \frac{\omega_{св}}{\omega_{пс}} = \frac{11.4}{0.99} = 11.6$$

Принимаем рабочее число псевдооживления [4, стр. 170]

$$K_{\omega} = 3$$

Тогда рабочая скорость сушильного агента

$$\omega := K_{\omega} \cdot \omega_{пс} = 3 \times 0.99 = 2.96 \text{ м/с}$$

Диаметр сушилки для трех сушильных полок

$$d = \sqrt{\frac{4 (V/3)}{\pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times (80.4/3)}{3.14 \times 2.96}} = 3.396 \text{ м}$$

Принимаем

$$d = 3.4 \text{ м}$$

Тогда действительная скорость воздуха (для трех сушильных полок)

$$\omega = \frac{4 (V/3)}{\pi d^2} = \frac{4 \times (80.4/3)}{3.14 \times 3.4^2} = 2.95 \text{ м/с}$$

Действительное число псевдооживления

$$K_{\omega} := \frac{\omega}{\omega_{пс}} = \frac{2.95}{0.99} = 2.99$$

		N				25

4.5 Гидравлическое сопротивление сушилки

Гидравлическое сопротивление сушилки с кипящим слоем

$$\Delta P := \Delta P_{\text{пс}} + \Delta P_{\text{р}}$$

где $\Delta P_{\text{пс}}$ – гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя;

$\Delta P_{\text{р}}$ – гидравлическое сопротивление решетки.

Гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя

$$\Delta P_{\text{пс}} := \rho_{\text{ч}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \cdot H$$

где ε – порозность слоя, определяемая по формуле

$$\varepsilon := \left(\frac{18 \cdot \text{Re} + 0.36 \cdot \text{Re}^2}{\text{Ar}} \right)^{0.21}$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Ar – критерий Архимеда.

Критерий Рейнольдса

$$\text{Re} := \frac{\omega \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{ср}}}{\Psi \cdot \mu_{\text{ср}}}$$

где Ψ – коэффициент формы частиц, принимаем $\Psi = 0,9$. Тогда

$$\text{Re} = \frac{2.95 \times 0.003 \times 0.922}{0.9 \times 2,25 \times 10^{-5}} = 403$$

Критерий Архимеда

$$\text{Ar} := \frac{g d_{\text{э}}^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}^2} = \frac{9.81 \times 0.003^3 \times (1450 - 0.922) \times 0.922}{(2,25 \times 10^{-5})^2} = 6.98 \times 10^5$$

Порозность слоя

$$\varepsilon = \frac{18 \times 403 + 0.036 \times 403^2}{6.98 \times 10^5} = 0.609$$

Гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя

$$\Delta P_{\text{пс}} = 1450 \times (1 - 0,609) \times 9,81 \times 1 = 1110 \text{ Па}$$

Минимально допустимое гидравлическое сопротивление решетки

		N			

5 РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.1 Расчет вентилятора для подачи атмосферного воздуха

Необходимо рассчитать вентилятор для подачи атмосферного воздуха в калорифер, где он нагревается и подается в сушилку. Давление на входе в сушилку

$$P = P_{\text{вх}} = 0,1334 \text{ МПа}$$

Расход воздуха (подача вентилятора)

$$G = V = 80,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

Схема к расчету вентилятора приведена на рис. 5.1.

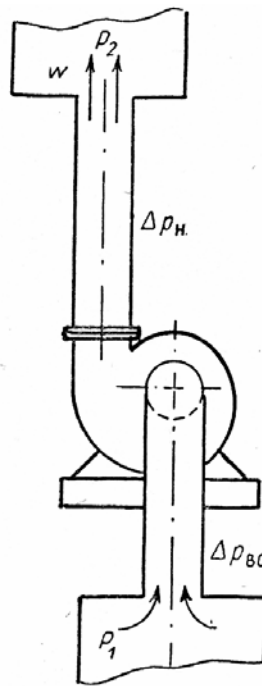


Рисунок 5.1 – Схема к расчету вентилятора

Давление, создаваемое вентилятором при подаче воздуха [3, ф-ла 2.9, 2.10]:

$$\Delta p = (p_2 - p_1) + (\Delta p_{\text{вс}} + \Delta p_n) + \frac{\omega^2 \rho}{2}$$

где p_1 – давление в пространстве, из которого вентилятор забирает воздух; поскольку забор происходит из атмосферы, то $p_1 = 0,1013$ МПа;

p_2 – давление в пространстве, куда вентилятор подает воздух, согласно предыдущим расчетам, давление на входе в пневмопровод $p_2 = P_{\text{вх}} = 0,1334$ МПа;

$$Q_{\text{эл}} = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho \zeta}} = \frac{3.14 \times 0,15^2}{4} \sqrt{\frac{2 \times 650}{90}} = 0,067 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тогда количество элементов в каждом из четырех батарейных циклонов

$$n = \frac{Q/4}{Q_{\text{эл}}} = \frac{84,4/4}{0,067} = 315$$

Принимаем двухсекционный батарейный циклон с количеством элементов в ряду 18 и девятью рядами. Число элементов в каждой секции

$$n_{\text{с}} = 18 \times 9 = 162$$

Суммарное количество элементов в двухсекционном батарейном циклоне

$$n_{\text{ц}} = 2 n_{\text{с}} = 2 \times 162 = 324$$

		N				31

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1971.
2. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 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. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.

		N	.	.	.	33