

# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ

					КП ПАХТ ХТЗ-991 КС 00.00.00 ПЗ	7
		N	.	.		

## Мазутная топка

, топка для сжигания отходов нефтепереработки - мазута. Применяется в котлоагрегатах любой паропроизводительности. Топочная камера, как правило, имеет форму вертикального параллелепипеда (см. Камерная топка). Форсунки служат для распыливания мазута, так как при горении жидкого топлива в реакцию вступает только его газовая фаза. Размещают форсунки на стенках топки или по её углам. Воздух для горения подают через амбразуры, расположенные вокруг форсунок. В крупных топках воздух подогревают до 200-400 °С, что ускоряет испарение топлива. Топочные экраны изготовляют из труб диаметром 32-76 мм (гладких или с плавниками); обычно камеру экранируют полностью. М. т. проектируют на те же параметры, что и газовые топки. При сжигании мазута на трубах экранов и пароперегревателей образуются плотные отложения (корки), которые уменьшают коэффициент теплопередачи, вследствие чего повышается температура отходящих газов и уменьшается КПД агрегата. Для удаления таких корок в мазут добавляют спец. присадки, в результате чего отложения становятся рыхлыми и легко удаляются обдувкой.

					КП ПАХТ ХТЗ-991 КС 00.00.00 ПЗ	9
		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

Расход сырья	$G_M$	23,6 кг/с
Начальная влажность материала (масс)	$\omega_H$	5,5%
Конечная влажность материала (масс)	$\omega_K$	0,6%
Плотность кристаллов	$\rho_{\text{ч}}$	1990 кг/м <sup>3</sup>
Теплоемкость кристаллов	$c_M$	0.920 кДж/(кг К)
Начальная температура материала	$t_H$	15 °С
Параметры наружного воздуха		
температура	$t_{\text{нар}}$	15 °С
относительная влажность	$\Phi_{\text{нар}}$	70%
Средний эквивалентный диаметр частиц	$d_{\text{ч}}$	2,5 мм
Фактор формы	$\psi$	0,67
Максимальный диаметр частиц	$d_{\text{max}}$	4,0 мм
Топливо для нагревания сушильного агента		мазут

Принимаем температуру уходящего из сушилки материала

$$t_K = 40 \text{ °С}$$

### 4.3 Определение расхода воздуха

Пересчитаем расход материала

$$G_M = 3600 \times 23,6 = 84960 \text{ кг/ч}$$

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

$$W := G_M \cdot \frac{\omega_H - \omega_K}{1 - \omega_H} = 84960 \times \frac{0,055 - 0,006}{1 - 0,055} = 4405 \text{ кг/ч}$$

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  $\Delta$  – 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

$$q_M := \frac{G_M \cdot c_M \cdot (t_K - t_H)}{W} = \frac{84960 \times 0,920 \times (40 - 15)}{4405} = 444 \text{ кДж/кг}$$

Соответственно

$$\Delta = 4,2 \times 15 + 0 - (0 + 403 + 22,6) = -403 \text{ кДж/кг влаги}$$

По диаграмме I-x (см. рисунок 4.2) по известным параметрам наружного воздуха ( $t_0 = 15 \text{ °C}$  и  $\varphi_0 = 70\%$ ) находим влагосодержание  $x_0$  и энтальпию  $I_0$  воздуха, поступающего в калорифер для подогрева и затем в сушилку

$$x_0 = 0,008 \quad I_0 = 40 \text{ кДж/кг}$$

Принимает температуру уходящих дымовых газов 190 °С. Тогда экономически выгодная температура нагретого воздуха будет на 5-10 °С ниже. Принимаем температуру сушильного агента, поступающего в трубу

$$t_{\text{вх}} = 180 \text{ °С}$$

Поскольку нагревание происходит через стенку, то влагосодержание воздуха не меняется, а температура повышается до  $t_{\text{вх}} = 180 \text{ °С}$ . По I-x диаграмме проводим вертикальную линию из точки  $(x_0, I_0)$  до пересечения с изотермой  $t = t_{\text{вх}} = 180 \text{ °С}$  и определяем энтальпию. Тогда влагосодержание и энтальпия воздуха, поступающего в сушилку

$$x_{\text{вх}} = x_0 = 0.008$$

$$I_{\text{вх}} = 210 \text{ кДж/кг}$$

Уравнение рабочей линии сушки

$$\Delta = \frac{I - I_1}{x - x_1}$$

Откуда

$$I = I_{\text{вх}} + \Delta (x - x_{\text{вх}}) = 210 - 403 \times (x - 0.008)$$

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  $x = 0,09 \text{ кг влаги / кг сухого воздуха}$ . Тогда

$$I = 210 - 403 \times (0,09 - 0.008) = 177 \text{ кДж/кг}$$

Температура уходящего сушильного агента

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{к}} + 10 = 50 \text{ °С}$$

По полученным данным построим рабочую линию. Находим точку Пересечения с изотермой  $t = t_{\text{вых}} = 50 \text{ °С}$  и определяем параметры отработанного сушильного агента:

$$x_{\text{вых}} = 0,054 \text{ кг/кг,}$$

$$I_{\text{вых}} = 210 - 403 \times (0,054 - 0.008) = 191 \text{ кДж/кг}$$

Расход воздуха на сушку

$$L := \frac{W}{x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}} = \frac{4405}{0,054 - 0.008} = 95770 \text{ кг/ч}$$

#### 4.4 Расчет расхода топлива

В качестве топлива согласно заданию на проектирование выступает мазут. Расход теплоты на нагрев сушильного агента от 15 °С до 180 °С составит

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{Г}} (I_{\text{вх}} - I_0) = 33,1 \times (210 - 40) = 5627 \text{ кДж/с}$$

В топку для горения подается также атмосферный воздух. Температура уходящих дымовых газов равна 190 °С. Ввиду незначительного отличия температур принимаем энтальпию уходящих дымовых газов равной энтальпии сушильного агента  $I_{\text{дг}} = 210 \text{ кДж/кг}$ . Тепло, уносимое с дымовыми газами

$$Q_{\text{дг}} = G_{\text{Г}} \alpha (I_{\text{дг}} - I_0)$$

где  $G_{\text{Г}}$  – расход топлива, кг/с;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха, принимаем как для горения природного газа  $\alpha = 4$  [4, стр. 163].

Теплота, выделяющаяся при сгорании мазута

$$Q_{\text{Г}} = G_{\text{Г}} r_{\text{Г}}$$

где  $r_{\text{Г}}$  – теплотворная способность топлива,  $r_{\text{Г}} = 40 \text{ МДж/кг}$ .

Уравнение теплового баланса топки

$$Q_{\text{Г}} = Q_{\text{дг}} + Q_{\text{в}}$$

$$G_{\text{Г}} r_{\text{Г}} = G_{\text{Г}} \alpha (I_{\text{дг}} - I_0) + G_{\text{Г}} (I_{\text{вх}} - I_0)$$

Из этой формулы расход мазута

$$G_{\text{Г}} = \frac{G_{\text{Г}} (I_{\text{вх}} - I_0)}{r_{\text{Г}} - \alpha (I_{\text{дг}} - I_0)} = \frac{5627}{40000 - 4 (210 - 40)} = 0,143 \text{ кг/с}$$

#### 4.5 Расчет скорости движения сушильного агента

Для определения скорости витания частиц необходимо вычислить вязкость транспортирующего агента. Для проведения расчетов определим вязкость транспортирующего газа при 115 °С по формуле [3, ф-ла 1.12]

$$\mu_{\text{гх}} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{T_1 + C} \left( \frac{T_1}{T_0} \right)^{3/2}$$

где  $\mu_0$  – вязкость газа при 0 °С и атмосферном давлении, ;

$T_0 = 273 \text{ К}$  – температура н.у.;

Тогда скорость витания частиц будет равна

$$\omega_{\text{ВИТ}} := \psi \cdot \frac{\text{Re}_{\text{ВИТ}} \cdot \mu_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot d_{\text{э}}} = 0.67 \times \frac{474 \times 5.73 \times 10^{-5}}{0.910 \times 0.0025} = 6.76 \text{ м/с}$$

Принимаем скорость движения сушильного агента

$$\omega_{\Gamma} = 1.25 \omega_{\text{ВИТ}} = 8.45 \text{ м/с}$$

Диаметр трубы-сушилки

$$D = \sqrt{\frac{4 V}{\pi \omega_{\Gamma}}} = \sqrt{\frac{4 \times 30.7}{3.14 \times 8.45}} = 2.15 \text{ м}$$

Принимаем

$$D = 2.2 \text{ м}$$

Объемный расход материала

$$V_{\text{М}} := \frac{G_{\text{М}}}{\rho_{\text{ч}}} = \frac{23,6}{1990} = 1.186 \times 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$$

Значение подачи

$$\lambda := \frac{V_{\text{М}}}{V_{\Gamma}} = \frac{1.186 \times 10^{-2}}{30,7} = 3,863 \times 10^{-3}$$

Определим порозность транспортируемого слоя на выходе из сушилки. Для этого воспользуемся формулой [5]

$$\text{Re}_{\text{ВИТ}} = \frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon \cdot (1 + \lambda)} \cdot \frac{\text{Ar} \cdot \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.61 \cdot \sqrt{(\text{Ar} \cdot \varepsilon^{4.75})}}$$
$$474 = \frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon \times (1 + 3,863 \times 10^{-3})} \cdot \frac{1.001 \times 10^{-5} \times \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.61 \times \sqrt{1.001 \times 10^{-5} \times \varepsilon^{4.75}}}$$

Откуда  $\varepsilon = 0.962$ , что соответствует достаточно разреженному слою материала. Оценим скорость и коэффициент скольжения для рассматриваемого сечения. Действительная скорость движения частиц равна

$$\omega_{\text{ч}} := \lambda \cdot \frac{\omega_{\Gamma}}{1 - \varepsilon} = 3,863 \times 10^{-3} \times \frac{8.45}{1 - 0,962} = 0.848 \text{ м/с}$$

Скорость скольжения агента

$$\omega_{\text{с}} := \omega_{\Gamma} - \varepsilon \cdot \omega_{\text{ч}} = 8.45 - 0,962 \times 0,848 = 7,634 \text{ м/с}$$

Решая эту формулу итерационно, получим

$$\lambda_1 = 0,0162$$

Соответственно

$$\Delta P_1 = 0.0162 \times 14 \times 0.910 \times \frac{8.45}{2 \times 2.20} = 385 \text{ Па}$$

Потеря напора на трение частиц о стенки сушилки

$$\Delta P_2 := \lambda_2 \cdot H_{\text{под}} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot \frac{\omega_{\text{ч}}^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{2 \cdot D}$$

где  $\lambda_2 = 0.05$  коэффициент трения частиц о стенки. Итого

$$\Delta P_2 = 0.05 \times 14 \times 1990 \times \frac{0.848^2 \times (1 - 0.962)}{2 \times 2.20} = 850 \text{ Па}$$

Потери напора на разгон материала

$$\Delta P_3 := \frac{4 \cdot G_{\text{м}} \cdot \omega_{\text{ч}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \times 23,6 \times 0.848}{3.14 \times 2,20^2} = 530 \text{ Па}$$

Общие потери напора в трубе-сушилке равны

$$\begin{aligned} \Delta P &:= \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 = \\ &= 10330 + 385 + 850 + 530 = 12095 \text{ Па} = 0,0121 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Давление воздуха на входе в сушилку

$$P_{\text{вх}} := P_{\text{вых}} + \Delta P = 0,1200 + 0,0121 = 0,1321 \text{ МПа}$$

#### 4.7 Оценка критической скорости крупных частиц

Оценим критическую скорость для самых крупных частиц диаметром 4 мм.

Критерий Архимеда

$$Ar := \frac{g d_{\text{ч}}^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}}) \cdot \rho_{\text{г}}}{\mu_{\text{г}}^2} = \frac{9.81 \times 0.004^3 \times (1990 - 0.910) \times 0.910}{(5,728 \times 10^{-5})^2} = 4.100 \times 10^5$$



## 5 РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 5.1 Расчет мокрого пылеуловителя

В качестве аппарата тонкой очистки сушильного агента используется мокрый пылеуловитель. До него очистка воздуха осуществляется в циклоне, где отделяются частицы с диаметром более 0,5 мм. Принимаем долю частиц менее 0,5 мм

$$\alpha = 2\%$$

Схема к расчету приведена на рисунке 5.1

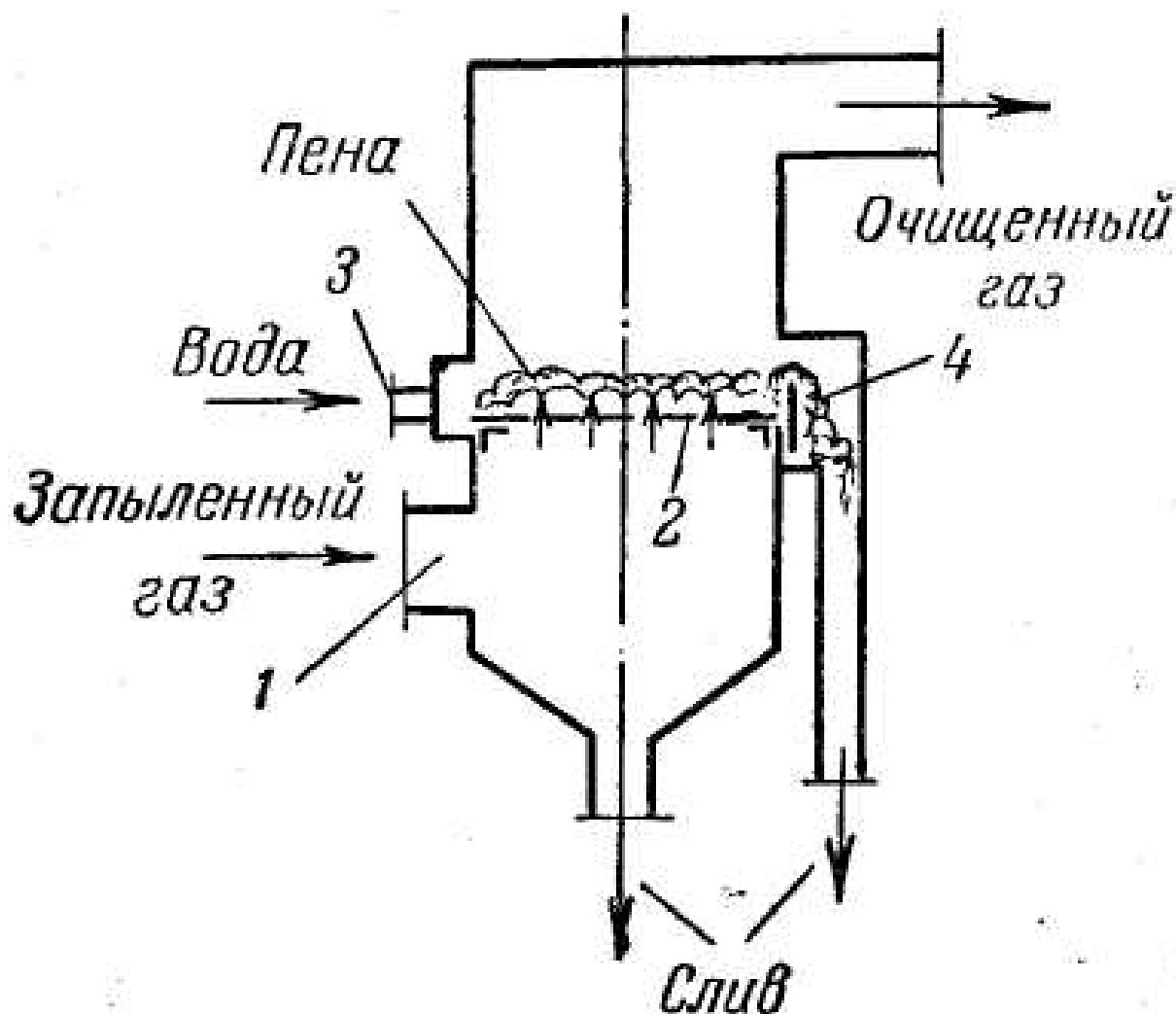


Рисунок 5.1 – Схема к расчету мокрого пылеуловителя

Для расчета мокрого пылеуловителя напишем программу на ЭВМ. Воспользуемся средой программирования MathCAD. Ниже приведен алгоритм расчета и листинг программы с результатами расчета.

где  $C$  – концентрация пыли в суспензии;

$K$  – коэффициент распределения между утечкой и сливной водой, выраженный отношением пыли, попадающей в утечку, к общему количеству пыли, принимаем  $K = 0,7$  [3].

Количество воды приходящейся на  $1 \text{ м}^2$  решеток

$$q = \frac{G_B}{F}$$

Учитывая простоту изготовления выберем проливатель с решеткой с круглыми отверстиями. Рекомендуемая скорость газа в отверстиях 8-13 м/с. Допуская, что количество очищенного газа не увеличивается, примем

$$\omega_{\text{отв}} = 12 \text{ м/с}$$

Тогда отношение площади свободного сечения решетки к площади сечения аппарата:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{\omega_{\text{отв}}}{\omega \varepsilon}$$

где  $\varepsilon = 0,95$  – коэффициент, учитывающий, что 5% сечения решетки занимают опоры, переливные стенки и др.

Определим диаметр штуцера для подвода газа по формуле:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4V}{\pi \omega_1}}$$

где  $\omega_1$  – скорость газа на входе в аппарат, примем  $\omega_1 = 15 \text{ м/с}$ .

Диаметр штуцера для подвода воды определяем по формуле:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4G_B}{\pi \omega_3}}$$

где  $\omega_3$  – скорость воды на входе, примем  $\omega_3 = 2 \text{ м/с}$ .

Результаты расчета приведены на рисунке 5.1 и 5.2.

■ Количество воды приходящейся на 1 м<sup>2</sup> решеток

$$q := \frac{G_B}{F} \quad q = 14.39 \frac{\text{М}}{\text{ч}}$$

Скорость газа в отверстиях

$$\omega_{\text{отв}} := 12 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Отношение площади свободного сечения решетки к площади сечения аппарата коэффициент, учитывающий, что часть сечения решетки занимают, опоры, переливные стенки и др

$$\varepsilon := 0.95$$

$$\gamma := \frac{\omega_{\text{отв}}}{\omega \cdot \varepsilon} \quad \gamma = 9.72$$

Диаметр штуцера для подвода газа по формуле

скорость газа на входе в аппарат  $\omega_1 := 15 \frac{\text{М}}{\text{с}}$

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega_1}} \quad d_1 = 1502.7 \text{ мм}$$

Диаметр штуцера для подвода воды

скорость воды на входе в аппарат  $\omega_3 := 2 \frac{\text{М}}{\text{с}}$

$$d_3 := \sqrt{\frac{4 \cdot G_B}{\pi \cdot \omega_3}} \quad d_3 = 228.16 \text{ мм}$$

Рисунок 5.3 – Результат расчета мокрого пылеуловителя (продолжение)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Розанов Т. И. Промышленные схемы сушки сыпучих материалов, М.: Химия, 1976. – 240 с.
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.
5. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» «Расчет пневмотранспорта зернистых материалов» Свидченко А. И.

					КП ПАХТ ХТЗ-991 КС 00.00.00 ПЗ	29
		N				