

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ

При псевдооживлении слоя зернистого материала резко возрастают скорости процессов, связанных с переносом тепла и вещества. Это дает возможность уменьшить продолжительность сушки и обеспечить сушку больших потоков зернистого материала.

В сушилках с кипящим слоем обычно сушат материал, размеры частиц которого не превышают 5 мм. В качестве сушильного агента используются горячий воздух, дымовые газы, горячие инертные газы.

Псевдооживленный слой может быть создан также за счет другого инертного материала, с которым контактирует высушиваемый материал в токе горячего сушильного агента. В этом случае высушенный материал обычно выводится с сушильным агентом через циклоны.

В кипящем слое происходит быстрое выравнивание температур твердых частиц и сушильного агента и достигается весьма интенсивный тепло- и массообмен между твердой и газовой фазами, в результате этого сушка заканчивается в течение нескольких минут.

При сушке в кипящем слое в качестве сушильных агентов применяют топочные газы и воздух, сушку проводят в аппаратах непрерывного и периодического действия, причем непрерывная сушка производится в одноступенчатых и многоступенчатых сушилках. В последнем случае достигается повышенная степень использования тепла сушильного агента.

Сушка в кипящем слое пригодна для обработки зернистых, неслипающихся и мелкоизмельченных материалов. В сушилках непрерывного действия размер твердых частиц высушиваемого материала должен находиться в пределах от нескольких мм до десятых долей мм [2].

Достоинства сушилок с кипящим слоем:

1) интенсивная сушка; напряжение объема сушильной камеры по влаге может достигать нескольких сот $\text{кг/м}^3 \times \text{ч}$,

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 7 |
| Изм | Лист | Издк | Подп | Дата | | | | | | |

Высушиваемый материал подается из бункера 1 питателем 2 в слой материала, «кипящего» на газораспределительной решетке 3 в камере 4 сушилки. Сушильный агент — горячий воздух или топочные газы, разбавленные воздухом, который подается в смесительную камеру 5 вентилятором 6 — проходит с заданной скоростью через отверстия решетки 3 и поддерживает на ней материал в кипящем (псевдо-ожиженном) состоянии.

В кипящем слое происходит быстрое выравнивание температур твердых частиц и сушильного агента и достигается весьма интенсивный тепло- и массообмен между твердой и газовой фазами, в результате этого сушка заканчивается в течение нескольких минут.

При сушке в кипящем слое в качестве сушильных агентов применяют топочные газы и воздух, сушку проводят в аппаратах непрерывного и периодического действия, причем непрерывная сушка производится в одноступенчатых и многоступенчатых сушилках. В последнем случае достигается повышенная степень использования тепла сушильного агента.

Высушенный материал сыпается через штуцер 7 несколько выше решетки 3 и удаляется транспортером 8. Отработанные газы очищаются от унесенной пыли в батарейном циклоне 9 и рукавном фильтре 10, после чего выбрасываются в атмосферу.

риала. Продолжительность сушки и расход энергии, при сушке в импульсном кипящем слое значительно ниже, чем в вакуум-сушилках.

Разновидностью сушилок с кипящим слоем являются аэрофонтанные сушилки (см. рисунок 2.2).

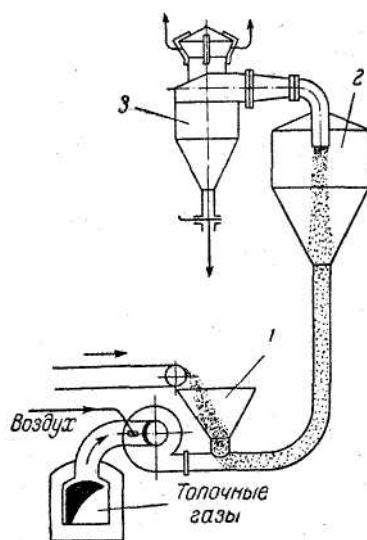


Рисунок 2.2 – Аэрофонтанная сушилка

1 – бункер; 2-камера (рюмка); 3-циклон.

Влажный материал поступает из загрузочного бункера 1, подхватывается смесью воздуха с топочными газами и поступает в камеру, или рюмку, 2. В камере материал интенсивно циркулирует до тех пор, пока высохшие частицы, как более легкие, уносятся газами в циклон 3. Здесь газы отделяются от высушенного материала, который удаляется через днище циклона.

Наиболее распространены однокамерные сушилки непрерывного действия. В сушилках этого типа с цилиндрическим корпусом наблюдается значительная неравномерность сушки, обусловленная тем, что при интенсивном перемешивании в слое время пребывания отдельных частиц существенно отличается от его средней величины. Поэтому применяют сушилки с расширяющимся кверху сечением, например коническим. Скорость газа внизу камеры должна превышать скорость осаждения самых крупных частиц, а вверху — быть меньше скорости осаждения самых мелких частиц. При такой форме камеры достигается более организованная

Многокамерные сушилки более сложны по конструкции (и соответственно в эксплуатации), чем однокамерные, требуют больших удельных расходов сушильного агента и электроэнергии. Кроме того, процесс в них труднее поддается автоматизации. Применение многокамерных сушилок целесообразно лишь для материалов со значительным сопротивлением внутренней диффузии влаги, требующих длительной сушки, а также для материалов, нуждающихся в регулировании температурного режима сушки (во избежание перегрева). В них удобно совмещать процессы сушки и охлаждения материала.

Для материалов, мало чувствительных к нагреву, применяют двух- и трехсекционные ступенчато-противоточные сушилки с кипящим слоем (см. рис. 2.4).

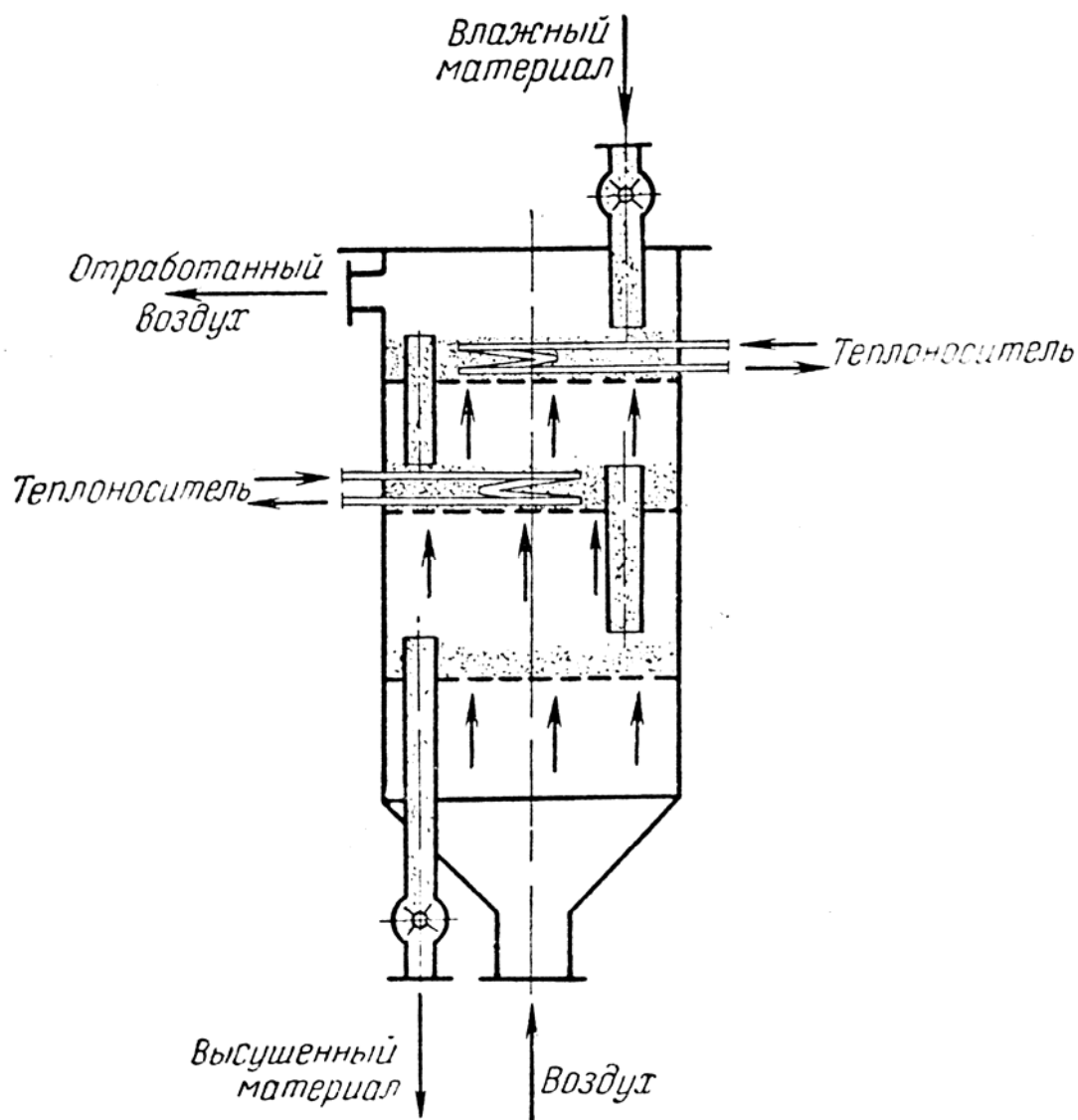


Рисунок 2.4 – Ступенчато-противоточная сушилка с кипящим слоем.

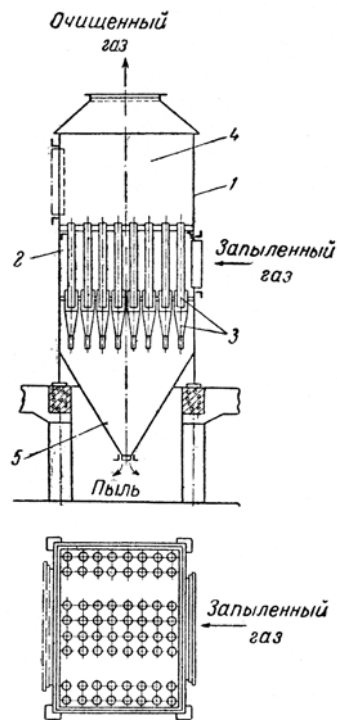


Рисунок 2.5 – Батарейный циклон

1 – корпус; 2 – газораспределительная камера; 3 – циклонные элементы; 4 – камера для обеспыленного газа; 5 – пылесборник.

Каждый элемент представляет собой циклон малого диаметра, отличающийся от обычного циклона главным образом способом ввода запыленного газа (см. рис. 3.6).

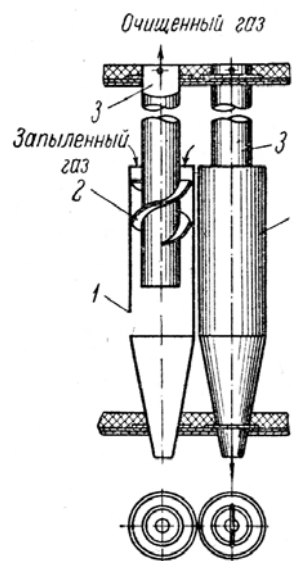


Рисунок 2.6 – Элемент батарейного циклона

1 – корпус; 2 – направляющий аппарат; 3 – выхлопная труба.

Рукавный фильтр состоит из корпуса 1, в котором находятся тканевые мешки 2 (рукава). Нижние открытые концы рукавов закреплены на патрубках общей трубной решетки 3, верхние концы снабжены крышками, подвешенными к общей раме 4.

Запыленный газ проходит изнутри рукавов наружу. При этом пыль осаждается на внутренней поверхности и в порах ткани, очищенный газ удаляется через выхлопную трубу 5. По мере увеличения толщины слоя пыли сопротивление ткани возрастает. Поэтому рукава периодически очищают встряхиванием при помощи специального кулачкового механизма 6. В некоторых фильтрах, наряду с механическим встряхиванием, рукава продувают воздухом, пропускаемым в направлении, обратном движению очищенного газа.

Пыль падает в коническое днище и при помощи шнека 7 через секторный затвор 8 удаляется из фильтра.

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|-------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 17 |
| Изм | Лист | Индокум | Подп. | Дата | | | | | | |

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

| Наименование параметра | Обозначение | Величина |
|--|-------------------|------------------------|
| Расход сырья (по сухому материалу) | G_M | 2200 кг/ч |
| Начальная влажность материала (масс) | ω_H | 18% |
| Конечная влажность материала (масс) | ω_K | 1% |
| Плотность кристаллов | $\rho_{\text{ч}}$ | 1480 кг/м ³ |
| Теплоемкость кристаллов | c_M | 1.16 кДж/(кг К) |
| Начальная температура материала | t_H | 20 °С |
| Конечная температура материала | t_K | 50 °С |
| Температура воздуха на входе в сушилку | $t_{\text{вх}}$ | 115 °С |
| Температура воздуха на выходе из сушилки | $t_{\text{вых}}$ | 50 °С |
| Диаметр частиц материала | $d_{\text{ч}}$ | 1,2 мм |
| Средняя температура окружающей среды | t_0 | 17 °С |
| Средняя влажность | φ_0 | 63% |

4.2 Определение расхода воздуха, скорости газов и диаметра сушилки

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

$$W := G_M \cdot \frac{\omega_H - \omega_K}{1 - \omega_H} = 2200 \times \frac{0,18 - 0,01}{1 - 0,18} = 456 \text{ кг/ч}$$

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

$$q_M := \frac{G_M \cdot c_M \cdot (t_K - t_H)}{W} = \frac{2200 \times 1,16 \times (40 - 20)}{456} = 112 \text{ кДж/кг}$$

Соответственно

$$\Delta = 4,2 \times 20 + 0 - (0 + 112 + 22,6) = -50,5 \text{ кДж/кг влаги}$$

По диаграмме I-x по известным параметрам наружного воздуха ($t_0 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_0 = 63\%$) находим влагосодержание x_0 и энтальпию I_0 воздуха, поступающего в калорифер для подогрева и затем в сушилку

$$x_0 = 0.009$$

$$I_0 = 45 \text{ кДж/кг}$$

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

$$\rho_{\text{ср}} = 1,293 \times \frac{273}{273 + 82,5} = 0,993 \text{ кг/м}^3$$

Плотность паров

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

где $\rho_{\text{п}0}$ – плотность воздуха при нормальных условиях (0 °С, 760 мм. рт. ст.),
 $\rho_{\text{п}0} = 0,803 \text{ кг/м}^3$ [3, табл. IV];

$$\rho_{\text{п}} = 0,803 \times \frac{273}{273 + 82,5} = 0,617 \text{ кг/м}^3$$

Средняя объемная производительность по воздуху

$$V := \frac{L}{\rho_{\text{ср}}} + \frac{x_{\text{ср}} \cdot L}{\rho_{\text{п}}} = \frac{15728}{0,993} + \frac{0,024 \times 15728}{0,617} = 4,57 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость начала псевдооживления

$$\omega_{\text{пс}} := \frac{\text{Re} \cdot \mu_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ср}} \cdot d_3}$$

где Re – критерий Рейнольдса;

$\mu_{\text{ср}}$ – средняя вязкость воздуха;

d_3 – эквивалентный диаметр частиц, $d_3 = d_ч = 1,2 \text{ мм}$.

Вязкость воздуха при $t_{\text{ср}}$ определим по формуле [3, ф-ла 1.12]

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

где μ_0 – вязкость газа при 0 °С и атмосферном давлении;

$T_1 = T_0 + t_{\text{ср}} = 273 + 82,5 = 355,5 \text{ К}$ – температура воздуха; C – константа.

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|--------|------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 23 |
| Изм | Лист | Ндкжум | Подп | Дата | | | | | | |

Диаметр сушилки

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 4,57}{3,14 \times 0,644}} = 2,482 \text{ м}$$

Принимаем

$$d = 2,5 \text{ м}$$

Тогда действительная скорость воздуха

$$\omega := \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \times 4,57}{3,14 \times 2,5^2} = 0,634 \text{ м/с}$$

Действительное число псевдооживления

$$K_{\omega} := \frac{\omega}{\omega_{\text{ПС}}} = \frac{0,634}{0,3} = 2,168$$

4.3 Определение высоты кипящего слоя

Принимаем диаметр отверстий распределительной решетки [4, стр. 171]

$$d_0 := 2,5 \text{ мм}$$

Высота гидродинамической стабилизации слоя

$$H_{\text{СТ}} := 20 \cdot d_0 = 20 \times 2,5 = 50,0 \text{ мм}$$

Высота слоя материала

$$H := 4H_{\text{СТ}} = 4 \times 50,0 = 200,0 \text{ мм}$$

Высота сепарационного пространства

$$H_c := 5 \cdot H = 5 \times 200,0 = 1000 \text{ мм}$$

Определим число отверстий в распределительной решетке. Принимаем долю свободного сечения решетки [4, стр. 171]

$$F_c = 0,03$$

Тогда число отверстий

$$n := \frac{d^2 \cdot F_c}{d_0^2} = \frac{2,5^2 \times 0,03}{0,0025^2} = 30000$$

Принимаем размещение отверстий по вершинам равностороннего треугольника. Тогда сторона треугольника

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 25 |
| Изм | Лист | Издк | Подп | Дата | | | | | | |

Критерий Архимеда

$$Ar := \frac{gd_3^3(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}^2} = \frac{9.81 \times 0.0012^3 \times (1480 - 0.993) \times 0.993}{(2,10 \times 10^{-5})^2} = 3.2 \times 10^4$$

Порозность слоя

$$\varepsilon = \frac{18 \times 32.9 + 0.036 \times 32.9^2}{3.2 \times 10^4} = 0.482$$

Гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя

$$\Delta P_{\text{пс}} = 1480 \times (1 - 0,482) \times 9,81 \times 1 = 1505 \text{ Па}$$

Минимально допустимое гидравлическое сопротивление решетки

$$\Delta P_{\text{рmin}} := \Delta P_{\text{пс}} \cdot \frac{K_{\omega}^2(\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_{\omega}^2 - 1) \cdot (1 - \varepsilon_0)}$$

где ε_0 – порозность неподвижного слоя, $\varepsilon_0 = 0,4$ [4, стр. 172]. Соответственно

$$\Delta P_{\text{рmin}} = 1505 \times \frac{2.168^2 \times (0.482 - 0.4)}{(2.168^2 - 1) \times (1 - 0,4)} = 260 \text{ Па}$$

Действительное гидравлическое сопротивление решетки

$$\Delta P_{\text{р}} := \xi \cdot \left(\frac{\omega}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{ср}}}{2}$$

где ξ – коэффициент сопротивления решетки, $\xi = 1,5$ [4, стр. 172].

$$\Delta P_{\text{р}} = 1.5 \times \left(\frac{0,634^2}{0.03} \right)^2 \frac{0.993}{2} = 333 \text{ Па}$$

Общее гидравлическое сопротивление установки

$$\Delta P = 1505 + 333 = 1538 \text{ Па}$$

Принимаем давление на выходе из аппарата

$$P_{\text{вых}} = 0,11 \text{ МПа}$$

Тогда давление воздуха на входе в сушилку

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{вых}} + \Delta P = 0.11 \text{ МПа} + 0,0015 = 0,1115 \text{ МПа}$$

$\Delta p_{вс}$ – потери давления во всасывающей линии; принимаем забор непосредственно из атмосферы, $\Delta p_{вс} = 0$ МПа;

$\Delta p_{н}$ – потери давления в нагнетательной линии; воздух проходит через калорифер, гидравлическое сопротивление которого примем 10% от p_2 :
 $\Delta p_{н} = 0,1115 \times 0,1 = 0,0112$ МПа;

ω – скорость воздуха на входе в сушилку, $\omega = 0,634$ м/сек;

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

ρ – плотность воздуха при рабочих условиях, согласно предыдущим расчетам $\rho = 0,993$ кг/м³.

Определим перепад давления

$$\Delta p = (0,1115 \times 10^6 - 0,1013 \times 10^6) + (0 \times 10^6 + 0,0112 \times 10^6) + \frac{0,634^2 \times 0,993}{2} = 21400 \text{ Па}$$

По объемной производительности (3,11 м³/с) и по избыточному давлению (21400 Па) по справочным данным [4, табл. I.9] подбираем газодувку ТВ-200-1,12 производительностью 3,33 м³/с и $p_{гн} = 23000$ Па.

5.2 Расчет очистительного устройства

Принимаем к установке циклон типа ЦН-15, изображенный на рис 5.2.

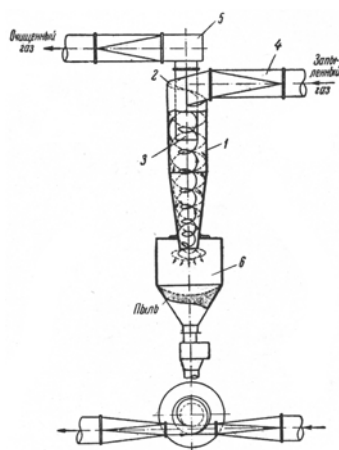


Рисунок 5.2 – Циклон конструкции НИИОГАЗ.

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – выхлопная труба; 4 – входной патрубок; 5 – улитка; 6 – пылесборник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной курсовой работе была спроектирована сушильная установка для высушивания кристаллов салициловой кислоты. В ходе курсовой работы были проведены технологический расчет и выбор вспомогательного оборудования.

В первом разделе описаны достоинства и недостатки сушильных установок с кипящим слоем и приведена технологическая схема такой сушильной установки.

В разделе, посвященном описанию конструкций оборудования, приведены конструкции типовых сушилок с кипящим слоем и выбран аппарат, в котором выполняется процесс сушки кристаллов салициловой кислоты. Также описана конструкция очистительных устройств и выбран его тип.

В технологическом разделе приведены расчеты, необходимые для проектирования промышленного объекта. Определен расход воздуха на сушку $L = 15728$ кг/ч при начальной температуре $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, рассчитан диаметр сушилки $D = 2,5$ м.

В качестве вспомогательного оборудования рассчитаны газодувка и очистительное устройство – циклон. По результатам расчета выбрана газодувка ТВ-200-1,12 и циклон $D = 1.2$ м.

Рассчитанная сушильная установка удовлетворяет техническому заданию и может быть использована в производстве.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|-------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 31 |
| Изм. | Лист | Идентиф. | Подп. | Дата | | | | | | |