

Типовые конструкции трубчатых реакционных печей

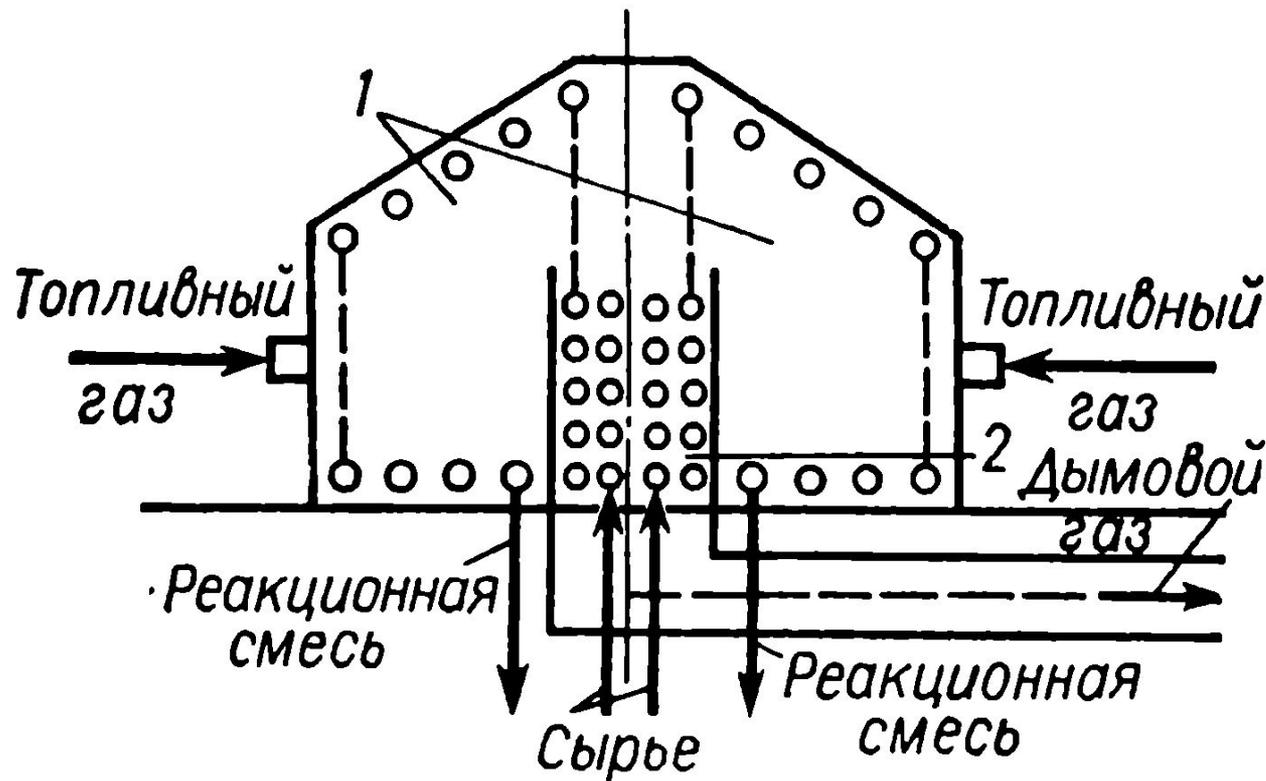


Рис. 4.2. Двухкамерная печь:

1 — радиантные камеры; 2 — конвекционная камера.

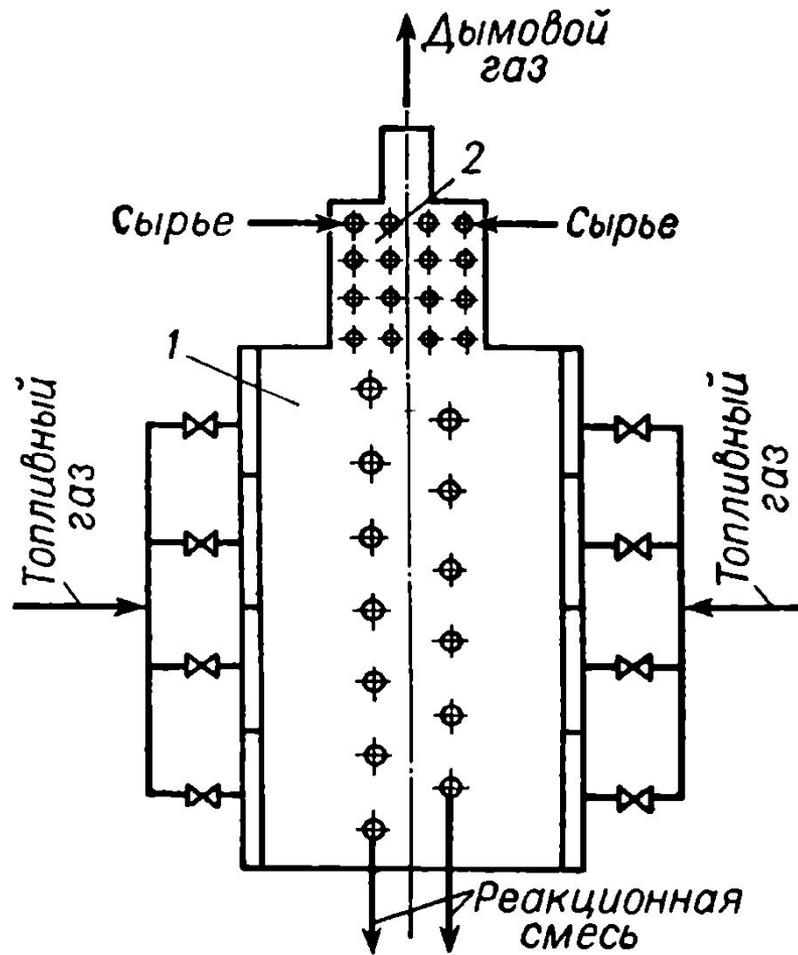


Рис. 4.3. Печь двухстороннего облучения:

1 — радиантная камера; 2 — конвекционная камера.

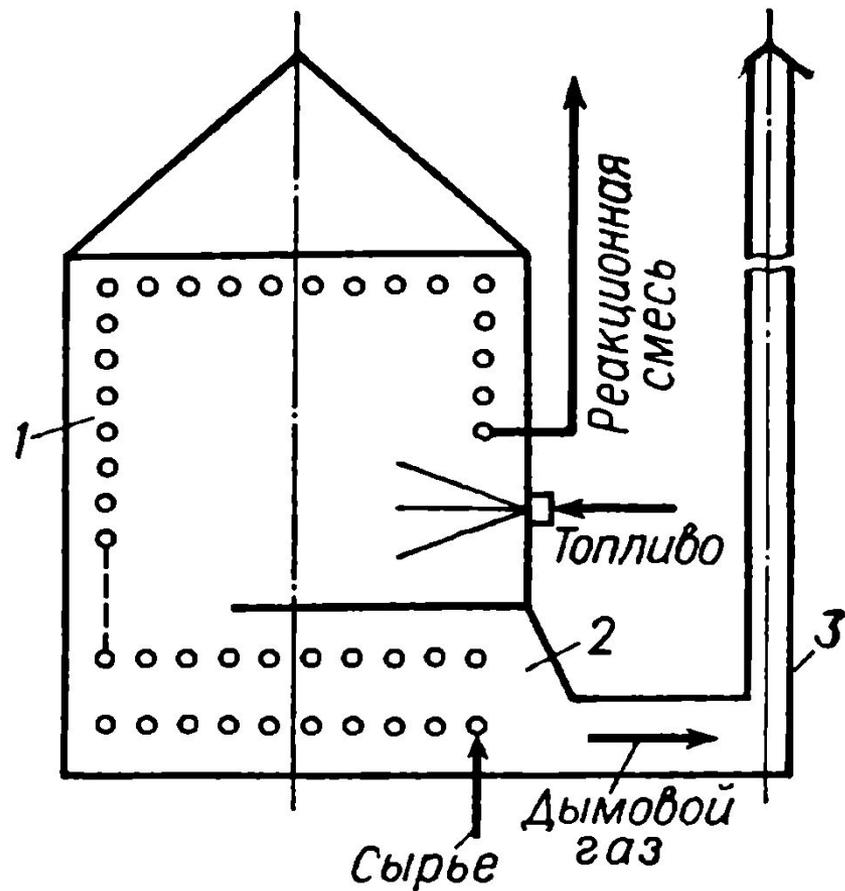


Рис. 4.1. Однокамерная трубчатая печь:

1 — радиантная камера; 2 — конвекционная камера; 3 — дымовая труба.

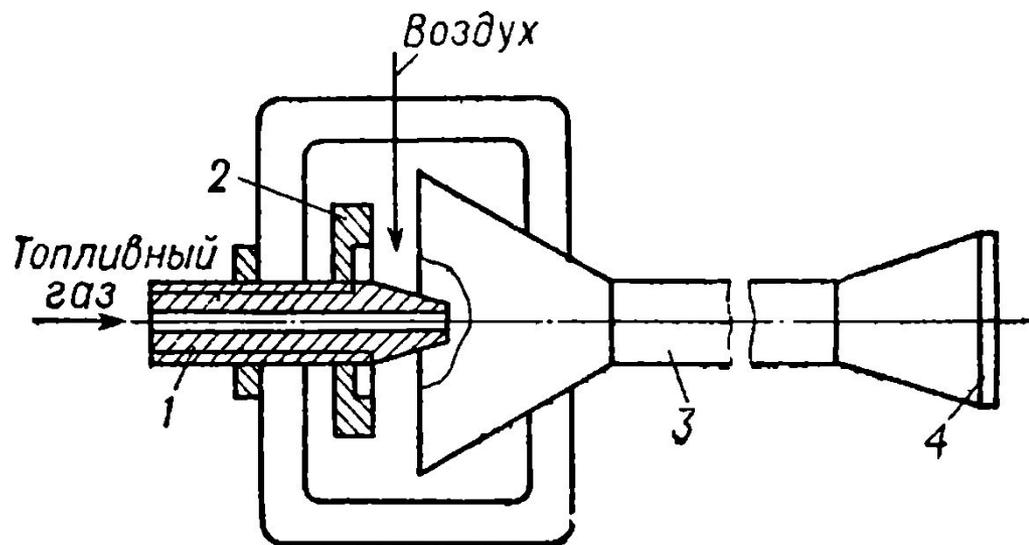


Рис. 4.7. Инжекционная горелка факельного типа:

- 1 — сопло;
- 2 — регулировочная шайба;
- 3 — смеситель;
- 4 — присоединительный фланец.

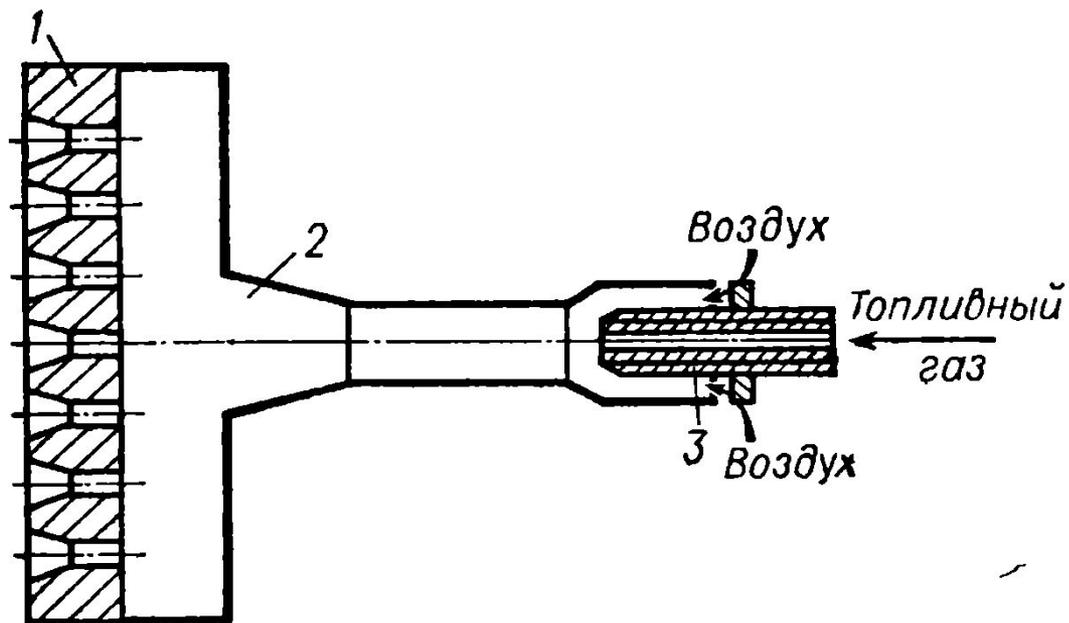


Рис. 4.8. Беспламенная панельная горелка:
 1 — керамическая панель; 2 — распределительное пространство (смесительная камера); 3 — инжектор.

Общая характеристика трубчатых реакционных печей

- Температура до 900 °С (например пиролиз углеводородов до ацетилена);
- Время пребывания реакционной массы – 0,5-10 с;
- Удельная массовая скорость по сырью – 100-200 кг/м²ч ;
- Давление на входе – до 8 атм. (пиролиз желательно проводить при низких давлениях, смещение равновесия в сторону продуктов);
- Скорость газа на выходе из печи – до 180-200 м/с (для турбулизации потока и уменьшения коксоотложения);
- Состоит из двух частей (передача тепла):
 - Конвекционная часть (нагрев сырья) – 65% за счёт конвекции и 35% - за счёт излучения;
 - Радиантная секция (реакционная часть) – 10% за счёт конвекции и 90% за счёт излучения.

Основные показатели работы трубчатых печей

1. Теплопроизводительность – количество тепла, передаваемого сырью в печи (2000-100000 кВт).

2. Теплонапряжённость поверхности нагрева – количество тепла, передаваемого в единицу времени через единицу площади поверхности:

- Конвекционная камера – 10-20 кВт/м² ;
- Радиантная камера – 40-75 кВт/м² ;
- Среднее значение – 20-40 кВт/м² ;

3. К.п.д. – отношение количества тепла, переданного сырью к общему количеству тепла, выделенному при сгорании топлива (0,6-0,9).

Расчёт трубчатой реакционной печи

Исходные данные:

- Массовый расход перерабатываемого сырья, G_c ;
- Состав сырья и состав продуктов (предварительно рассчитывается) на выходе из печи;
- Время пребывания реакционной массы,
- Данные о химических реакциях и тепловых эффектах химических реакций;
- Физико-химические свойства веществ;
- и т.д.

Необходимо рассчитать:

- Длину реактора L и диаметр змеевиков d ;
- Расход топлива и воздуха;
- Расход дымовых газов;
- Теплонапряжённость радиантных и конвекционных труб;
- Площадь поверхности радиантных и конвекционных труб;
- Габаритные размеры печи и дымовой трубы.

Порядок расчёта:

1. Рассчитываем материальный баланс печи;
2. Определяем полезную тепловую нагрузку – $Q_{\text{пол}}$, Дж/сек;

$$Q_{\text{пол}} = G_c (H_k - H_n) + Q_p$$

Q_p – тепло, необходимое для протекания химических реакций.

3. Принимаем среднюю теплонапряжённость радиантных труб ($Q_{\text{нр}}$) и рассчитываем площадь поверхности радиантных труб – F_p :

$$F = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{нр}}}$$

$Q_{\text{нр}}$ зависит от диаметра трубы.

4. Рассчитываем длину реакционного змеевика, L (м);

$$L = \frac{F}{\pi d m}$$

d – диаметр трубы (60-200 мм) принимаем;

m – число параллельных потоков (1-2);

Длину отдельных труб принимаем конструктивно: 6-18 м;

5. Рассчитываем время контакта

$$\tau = \frac{L}{w_{cp}} ;$$

w_{cp} - средняя скорость потока сырья

$$w_{cp} = \frac{w_n + w_k}{2} ; w_k = f(\tau)$$

$$\tau_p = \frac{L}{(w_n + f(\tau_p))} \text{ решаем нелинейное уравнение;}$$

6. Сравниваем расчетное время пребывания τ_p с заданным временем τ . Если они не совпадают, выбираем новый диаметр трубы и повторяем расчёт с пункта 5;

7. Переходим к тепловому расчёту.

7.1 Расчёт процесса горения топлива.

- Рассчитываем теплоту сгорания топлива, дж/кг:

Q_H – низшая теплота сгорания топлива (вода в паре);

Q_B – высшая теплота сгорания топлива (вода в жидкости).

Можно рассчитать разными способами: взять по экспериментальным данным, по теплотам сгорания отдельных компонентов топлива, по элементарному составу топлива, по эмпирическим формулам и др.

- Рассчитываем расход воздуха, необходимого для сгорания топлива:

$L = L_0 \alpha$; L_0 - теоретически необходимое количество воздуха, кг/кг топлива. Рассчитываем по реакциям сгорания отдельных компонентов топлива, по элементарному составу топлива, по эмпирическим формулам;

α - коэффициент избытка воздуха ($\alpha = 1,05-1,1$ для беспламенных горелок, $\alpha = 1,2-1,4$ - для факельных тарелок).

- Рассчитываем расход дымовых газов - $G_{дг}$ (кг/кг топлива) и их состав:

$G_{дг} = 1 + \alpha L_0 + G_{фн}$, где $G_{фн}$ - расход форсуночного пара.

Расчёт проводим по химическим реакциям, эмпирическим формулам и т.д.

7.2 Расчёт теплового баланса, к.п.д. печи и топки, расход топлива.

7.2.1 Тепловой баланс на 1 кг топлива:

Приход тепла:

$Q_{\text{н}}$ – теплота сгорания топлива;

$q_{\text{Т}}$ – тепло, приходящее с топливом;

$q_{\text{В}}$ – тепло, приходящее с воздухом;

$q_{\text{Ф}}$ – тепло с форсуночным паром;

$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{н}}$ (примерно).

Расход тепла:

$q_{\text{пол}}$ – тепло, переданное сырью;

$q_{\text{уход}}$ – тепло, уносимое дымовыми газами (температура отходящих газов должна быть не менее 250 °С);

$q_{\text{потерь}}$ – потери тепла.

$q_{\text{пол}} = q_{\text{пот.рад.}} + q_{\text{пот.ковек.}}$ (соотношение примерно 80:20);

$$q_{\text{потерь}} = (0,03-0,08) Q_{\text{н}} .$$

7.2.2 Расчёт к.п.д. топки.

$$\eta_T \approx \frac{Q_H - q_{\text{рад.пот.}}}{Q_H}; \quad \eta_T = \frac{Q_{\text{прих}} - q_{\text{пот.топ.}}}{Q_{\text{прих.}}}; \quad \eta_T = 0,93 - 0,98.$$

7.2.3 Расчёт к.п.д. печи.

$$\eta = \frac{q_{\text{пол}}}{Q_{\text{прих}}}; \quad \eta \approx \frac{q_{\text{пол}}}{Q_H}; \quad Q_H \approx q_{\text{пол}} + q_{\text{уход}} + q_{\text{пот}}; \quad \eta \approx \frac{Q_H - q_{\text{уход}} - q_{\text{пот}}}{Q_H}$$

7.2.3 Расход топлива B (кг/с)

$$B = \frac{Q_{\text{пол}}}{q_{\text{пол}}}; \quad \left(\frac{\text{дж} / \text{с}}{\text{кг}} \right) = \text{кг} / \text{с}.$$

$Q_{\text{пол}} = G_c (H_k - H_n) + Q_p$ - полезная тепловая нагрузка, $q_{\text{пол}}$ - то же на 1 кг топлива.

3. Расчёт радиантной секции

Необходимо рассчитать:

- $Q_{\text{рад}}$ – количество тепла, воспринимаемое радиантными трубами;

- $F_{\text{р}}$ – площадь поверхности радиантных труб;

- $t_{\text{п}}$ – температура газов на перевале;

- $Q_{\text{нр}}$ – теплонапряженность радиантных труб;

- $Q_{\text{кон}}$ – количество тепла, переданное конвекционным трубам.

Расчёт проводим в следующей последовательности:

3.1. Выбираем конструкцию и проводим компоновку радиантной камеры.

3.2. Задаёмся температурой газов на перевале – $t_{\text{п}}$:

Верхний предел – исходя из допустимой теплонапряжённости первых рядов конвекционных труб, нижний предел – $t_{\text{н}} \geq$ температуры сырья в радиантных трубах.

3.3. Рассчитываем количество тепла q_{Π} , уносимое дымовыми газами из радиантной камеры, дж/кг.

$$q_{\Pi} t = G \theta_{\Pi} c_{\Pi}, \text{ кДж} \quad / \quad ;$$

3.4. Количество тепла, воспринимаемое радиантными трубами $Q_{\text{рад}}$:

$$Q_{\text{рад}} = q_{\Pi} - q_{\text{рад.пот.}} \quad \text{В} \quad Q = (q_{\Pi} \eta_T \theta_{\Pi}) c \quad /$$

3.5. Количество тепла, переданное конвекционным трубам, $Q_{\text{кон}}$:

$$Q_{\text{кон}} = Q_{\text{пол}} - Q_{\text{рад}}, \quad /$$

3.6. Рассчитывают поверхность нагрева радиантных труб F_p и температуру газов на перевале t_n . Для этого используют ту или иную методики, описанные в литературе.

3.7. Сравнивают t_{Π} , т.е. температуру газов на перевале, полученную на данной итерации, с той какая была на предыдущей. Если они не совпадают с заданной степенью точности, то проводят корректировку и повторяют расчёт снова (т.е. с пункта 3.2).

Оценивают теплонапряжённость радиантных труб $Q_{\text{нр}}$. Если она не подходит, выбирают новое значение t_{Π} и повторяют расчёт. (Чем выше t_{Π} , тем выше $Q_{\text{нр}}$ и меньше F_p).

Сравнивают $Q_{\text{нр}}$, принятое в начале расчёта, со значением на данной итерации. Если они не совпадают, корректируют t_{Π} и повторяют расчёт заново.

4. Расчёт конвекционной камеры

Используя методики, описанные в литературных источниках, рассчитываем длину L_k и площадь поверхности конвекционного змеевика F_k :

$$F_k = \frac{Q_{кон}}{\Delta K_{cp}}$$

5. Проводят гидравлический расчёт змеевика печи

Цель расчёта – проверка принятых ранее значений перепада давлений в на входе и на выходе змеевика.

$P_{вх}$ и $P_{вых}$ использовались в ходе расчёта.

$$\Delta P = \lambda_{cp} \frac{L}{d} \frac{\gamma_{cp} w_{cp}^2}{2g}$$

λ_{cp} - коэффициент трения;

γ_{cp} - плотность.

6. Расчёт дымовой трубы

Труба должна обеспечивать тягу, т. е. в радиантной камере должно быть разрежение 20-30 Па.

$$\Delta P = H(\gamma_v - \gamma_g)$$

H – высота трубы, м (Минимальная высота – 16 м, по санитарно-гигиеническим соображениям).

γ_v - удельный вес воздуха;

γ_g - удельный вес дымовых газов при средней температуре.

ΔP - тяга в печи – равна сумме гидравлических сопротивлений дымоходов и трубы (рассчитывают по обычным формулам).

Скорость газов на выходе из трубы принимают 2,5-3 м/с. Если сопротивление дымового тракта больше 200-300 Па, то ставят дымосос.