

2.3. Балансовые уравнения для процесса первичного реформинга

Более детальная, по сравнению с рис.2.1, схема преобразования потоков веществ в Т.П. изображена на рис. 2.2. При анализе процесса далее предполагается, что в печь реформинга поступает смесь *чистого метана* и водяного пара. В более точных расчетах следует учитывать наличие в газовом потоке примесей углеводородов, азота и других компонентов.

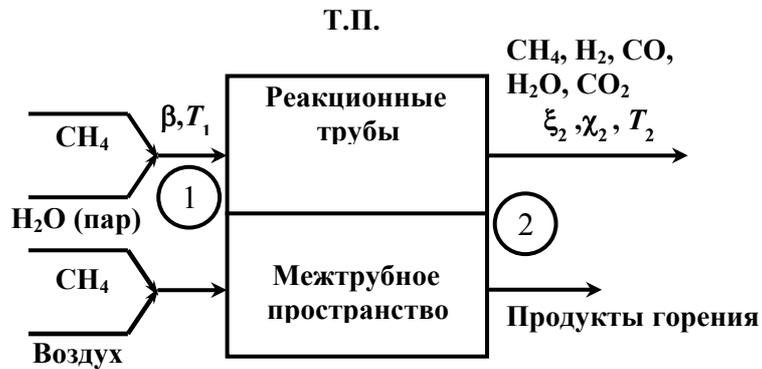


Рис. 2.2. Схема потоков веществ в трубчатой печи первичного реформинга.

Как показано ниже, интегральные уравнения материального и энергетического баланса в совокупности позволяют, при некотором дополнительном предположении о режиме протекания процесса, установить функциональную связь между показателем полноты конверсии метана в реакционных трубах Т.П. и *управляющими параметрами*, т.е. параметрами, которые технолог может в определенных пределах целенаправленно изменять для обеспечения оптимального режима процесса. К последним могут быть отнесены соотношение пар : метан в питающем потоке, температура смеси на входе в реакционные трубы и количество теплоты, передаваемое реагирующей смеси через стенки реакционных труб за счет сжигания газа в печи. Подогрев пара и метана перед подачей их в реакционные трубы осуществляют путем утилизации теплоты отходящих печных газов.

2.3.1. Уравнения материального баланса

Уравнения материального баланса по составляющим химико-технологическую систему химическим элементам для стационарного режима функционирования системы имеют вид (см. раздел 1.2):

$$\sum_{j=1}^l \dot{n}_{i,j} = 0, \quad (2.4)$$

где $\dot{n}_{i,j}$, моль/с – поток i -го элемента через j -й вход или выход, l – общее число входов и выходов; поступающие в систему потоки считаются положительными, а отводимые из системы – отрицательными.

Поток отдельного химического элемента выражается через соответствующие потоки химических компонентов системы в соответствии с элементным составом каждого из компонентов.

При анализе конкретной системы удобно использовать *абсолютные величины* потоков веществ. Обозначим через $\dot{q}_{i,j}$, моль/с – абсолютные величины потоков i -го вещества соответственно на входе ($j = 1$) и выходе ($j = 2$) реакционных труб. Тогда уравнение баланса по углероду примет вид:

$$\dot{q}_{\text{CH}_4,1} - \dot{q}_{\text{CH}_4,2} - \dot{q}_{\text{CO},2} - \dot{q}_{\text{CO}_2,2} = 0 \quad (2.5)$$

Баланс по кислороду:

$$\dot{q}_{\text{H}_2\text{O},1} - \dot{q}_{\text{H}_2\text{O},2} - \dot{q}_{\text{CO},2} - 2\dot{q}_{\text{CO}_2,2} = 0 \quad (2.6)$$

Баланс по водороду:

$$4\dot{q}_{\text{CH}_4,1} + 2\dot{q}_{\text{H}_2\text{O},1} - 4\dot{q}_{\text{CH}_4,2} - 2\dot{q}_{\text{H}_2,2} - 2\dot{q}_{\text{H}_2\text{O},2} = 0 \quad (2.7)$$

Балансовые уравнения позволяют минимизировать число параметров, описывающих результирующее изменение состава реакционной смеси на выходе из реактора, что значительно облегчает последующий анализ функционирования системы. Если состав поступающей в реактор газовой смеси однозначно характеризуется отношением

$$\beta = \frac{\dot{q}_{\text{H}_2\text{O},1}}{\dot{q}_{\text{CH}_4,1}}, \quad (2.8)$$

то состав продуктов реакции оказывается удобным характеризовать двумя параметрами:

$$\xi_2 = \frac{\dot{q}_{\text{CH}_4,1} - \dot{q}_{\text{CH}_4,2}}{\dot{q}_{\text{CH}_4,1}}$$

– степень конверсии метана, т.е. доля метана, превращенного по реакциям (2.1) и (2.2) либо в CO, либо в CO₂, (при этом $1 - \xi_2$ характеризует долю не прореагировавшего метана) и

$$\chi_2 = \frac{\dot{q}_{\text{CO}_2,2}}{\dot{q}_{\text{CH}_4,1}}$$

– доля метана, окисленного до CO₂.

Нетрудно убедиться, что относительные величины потоков всех компонентов на выходе реактора (отнесенные к питающему потоку метана) можно выразить через введенные параметры β , ξ_2 и χ_2 . Из определения ξ_2 (2.8) следует

$$\dot{q}_{\text{CH}_4,2} = \dot{q}_{\text{CH}_4,1} (1 - \xi_2); \quad (2.9)$$

уравнение (2.5) преобразуется к виду

$$\dot{q}_{\text{CO},2} = \dot{q}_{\text{CH}_4,1} (\xi_2 - \chi_2); \quad (2.10)$$

из (2.6) и (2.10) следует

$$\dot{q}_{\text{H}_2\text{O},2} = \dot{q}_{\text{CH}_4,1}(\beta - \xi_2 - \chi_2); \quad (2.11)$$

из (2.7) и (2.11) находим

$$\dot{q}_{\text{H}_2,2} = \dot{q}_{\text{CH}_4,1}(3\xi_2 + \chi_2). \quad (2.12)$$

В этих выражениях по определению $\chi_2 < \xi_2 < 1$ и $\beta > (\xi_2 + \chi_2)$.