

Практическая часть

2. Уравнения баланса вещества и энергии в анализе процессов в химических реакторах

2.1. Принципиальная схема паровоздушной конверсии метана

Блок-схема отделения паровоздушной конверсии природного газа в технологической нитке производства аммиака приведена на рис. 2.1.

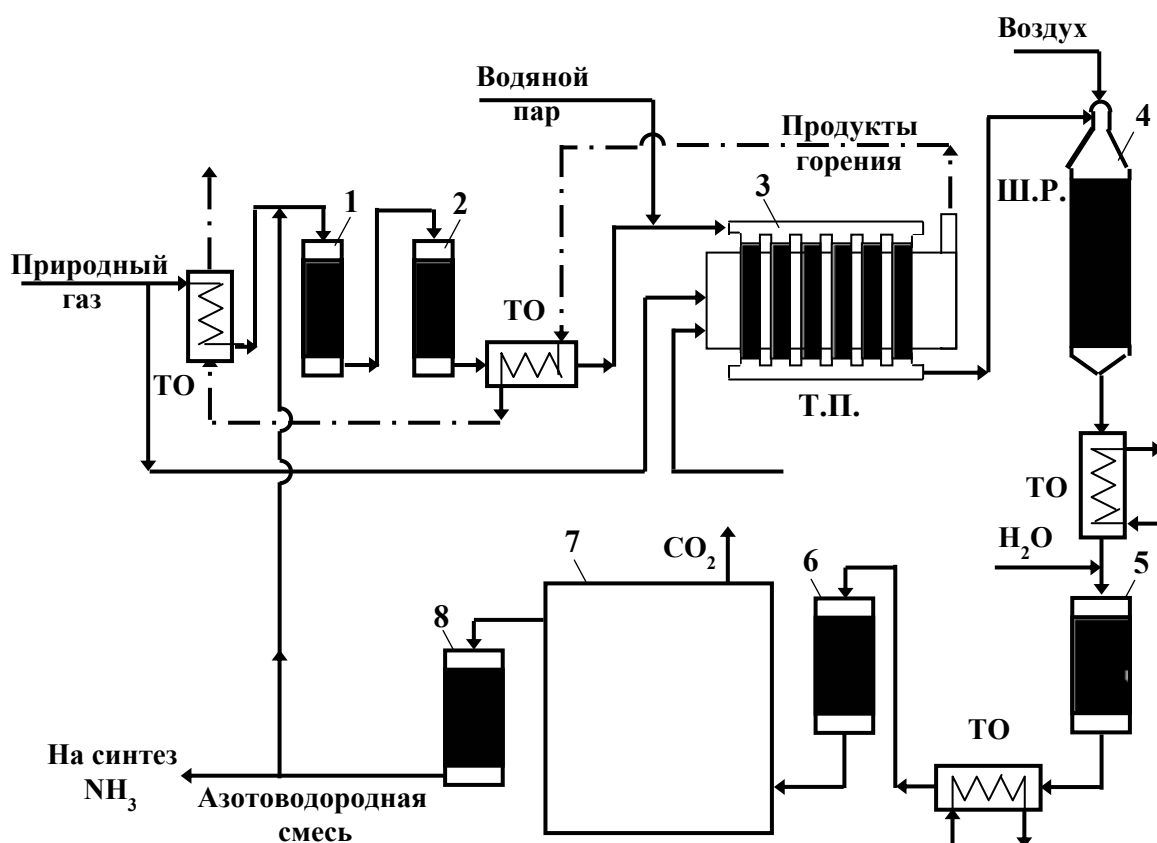


Рис.2.1. Принципиальная схема отделения конверсии природного газа в агрегате по производству аммиака: 1 – аппарат гидрирования сераорганических соединений; 2 – абсорбер сероводорода; 3 – печь первичного реформинга природного газа (трубчатая печь (Т.П.)); 4 – реактор вторичного реформинга (шахтный реактор (Ш.Р.)); 5, 6 – конвертеры монооксида углерода I и II ступени; 7 – блок очистки от CO₂; 8 – метанатор; ТО – теплообменники.

Природный газ вначале проходит через аппараты 1, 2 очистки от сераорганических соединений. В аппарат 1 подается часть производимого в отделении конверсии потока азотоводородной смеси; содержащие серу соединения реагируют с водородом, образуя сероводород, который удаляется из смеси в аппарате 2 при взаимодействии с оксидом цинка, либо адсорбцией на цеолите. Очищенный природный газ смешивается с водяным паром и поступает в

реакционные трубы печи первичного реформинга 3 (трубчатой печи (Т.П.)), заполненные никелевым катализатором. Здесь происходит превращение большей части CH_4 и сопутствующих углеводородов в смесь H_2 , CO и CO_2 . Итоговые уравнения основных реакций, протекающих в Т.П. можно записать в виде:



Реакция (2.1) идет с поглощением теплоты, реакция (2.2) – с ее выделением. Суммарный тепловой эффект процесса определяется эндотермической реакцией (2.1), необходимая теплота подводится к реакционным трубам от сжигаемого в межтрубном пространстве природного газа.

Вслед за первичной конверсией природного газа проводится паровоздушная конверсия остаточного количества углеводородов (вторичный реформинг) в шахтном реакторе (Ш.Р.) 4. Данный аппарат выполняет в рассматриваемой схеме две важные функции: увеличение степени конверсии метана за счет значительного повышения температуры по сравнению с температурой, достигаемой в Т.П., и получение смеси газов с необходимым содержанием азота для последующего синтеза аммиака. В Ш.Р., загруженном никелевым катализатором, последовательно протекают реакции окисления смеси горючих газов кислородом воздуха, подаваемого на вход Ш.Р., и реакций (2.1), (2.2). Среди реакций окисления превалирует реакция



протекающая до полного исчерпывания кислорода. Реакция (2.3) преобладает среди других реакций окисления, так как в газовой смеси, поступающей в Ш.Р., количество водорода значительно превышает количество других горючих газов.

Обе функции Ш.Р. обеспечиваются за счет парадоксального на первый взгляд решения – сжигания части полученного на предыдущей стадии продукта в объеме реактора. В результате происходит адиабатный разогрев смеси, температура резко возрастает, вследствие чего и повышается степень конверсии метана. Весь кислород, содержащийся в подаваемом в Ш.Р. воздухе, расходуется, и в смеси с продуктами конверсии остаются только другие компоненты воздуха – азот и аргон. Поэтому в данной схеме отпадает необходимость в выделении азота из воздуха путем его сжижения и низкотемпературной ректификации.

Выходящая из Ш.Р. смесь после ступенчатого промежуточного охлаждения последовательно проходит реакторы 5 и 6, в которых происходит практически полная конверсия монооксида углерода с образованием водорода на селективных катализаторах (I ступень конверсии в реакторе 5 – на среднетемпературном железо-хромовом катализаторе и II ступень в реакторе 6 – на низкотемпературном цинк-хром-медном катализаторе), обеспечивающих избирательное протекание реакции (2.2) при заторможенной реакции (2.1). Далее полученная азотоводородная смесь освобождается от углекислого газа абсорбцией раствором моноэтаноламина или бикарбоната калия в технологическом блоке 7. Оставшиеся в смеси незначительные примеси оксидов углерода, являющихся ядами для катализатора синтеза аммиака, нейтрализуют во вспомогательном каталитическом

реакторе – метанаторе 8, в котором реакции (2.1) и (2.2) протекают справа налево, превращая оксиды углерода в метан, инертный по отношению к катализатору синтеза аммиака. Из метанатора очищенная азотоводородная смесь идет в отделение синтеза аммиака, небольшая часть смеси поступает в головной аппарат 1 схемы.