

«ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА РЕАКТОРА ПАРОГАЗОВОГО РИФОРМИНГА ТИПА «ТАНДЕМ»

*Султанов В.Г., Размыслов А.В., Седов И.В., Никитин А.В.
ОЭСБ, ХТО*

Реактор парокислородного риформинга метана предназначен для проведения реакции автотермического риформинга метана на никелевом катализаторе. Для этого в реактор подается смесь водяного пара, конвертированного газа после реактора парового риформинга (содержит метан и водород) и кислорода в пропорциях, при которых часть метана и водорода в конвертированном газе сгорает в кислороде, в то время как оставшаяся часть метана реагирует с водяным паром на катализаторе с образованием водорода и окислов углерода. Кислород при температуре 150 °С смешивается с водяным паром с температурой 450 °С и в виде смеси подается в смеситель, который расположен в верхней части реактора. Вторым потоком в смеситель подается конвертированный газ с температурой 650-700 °С. В смесителе происходит смешение парокислородного потока и конвертированного газа с последующим воспламенением в пространстве реактора перед слоем катализатора. Наиболее высокая температура горения в нижней части смесителя. Средняя температура газа перед слоем катализатора составляет 1200-1400 °С. Затем на никелевом катализаторе протекает реакция парокислородного риформинга метана. Температура отходящего конвертированного газа на выходе из реактора составляет 950-1000 °С.

Целью данной работы является разработка расчёта («цифровой модели» или «цифрового двойника») горелки реактора парокислородного риформинга блока аппаратов типа «Тандем» на основании конструкторской документации, дающее полное представление о физико-химическом процессе смешения и горения реакционной смеси на входе в реактор при штатных, переходных и аварийных режимах работы:

Результатом данной работы является расчётная модель расчёта («цифровая модель» или «цифровой двойника») горелки реактора парокислородного риформинга блока аппаратов «Тандем», позволяющая получить подробную информацию о распределении концентрации, температуры, давления, скорости потоков продуктов горения при штатной работе, а также возможность провести математическое моделирование на основе созданной цифровой модели аварийных (перегрев элементов конструкции, возможная детонация при поджоге смеси прогретой ниже 700 °С) и переходных режимов (поджог смеси прогретой выше 700 °С), их последствия и условия их возникновения.

При выполнении работы получены следующие результаты:

1. Детально исследована работа одиночного элемента горелки в точной геометрии из технического задания, в максимально возможной детализации были промоделированы:
 - a. структура течения парокислородной смеси одиночной форсунки;
 - b. структура обтекания и роль паровой защиты форсунки (исследована возможность использования пара из данного контура для возможной защиты форсунки от пламени);
 - c. исследовано тепловое состояние элементов форсунки при работе в штатном режиме (при поступлении пара и стравливании пара) и возможный нештатный режим работы (перегрев смеси в трубке паровой защиты до температуры основной парогазовой смеси);
 - d. перегрев конструкции при отключении подачи пара безопасности;
 - e. Отдельно было промоделирована работа всего горелочного устройства (92 форсунки) в целом и получены данные по распределению и характеру течения во всем объеме горелочного устройства.
2. Получены данные по форме, размерам и длинам зон пламени, зон выгорания окислителя и распределение всех участвующих в реакциях компонент смеси.

3. Представлена «цифровая модель горелки», позволяющая конструкторам при необходимости самостоятельно проводить моделирование с использованием облачных вычислительных ресурсов.
4. Проведено математическое моделирование возможных критических моментов при процедуре запуска:
 - a. были определены локальные условия воспламенения при смешивании в зоне горения парогазовой и парокислородной смеси;
 - b. промоделированы возможные аварийные ситуации (детонация при поджоге смеси прогретой ниже 700 °С);
 - c. промоделировано воспламенение смеси горючего газа с чистым кислородом и воздухом.
5. Проведена верификация расчетов с верификационной моделью.

Полученные результаты могут быть использованы для анализа газодинамики и термодинамики процесса горения при проектировании и регламентировании процедуры запуска сложных много-форсуночных горелок.

Работа выполнена в рамках НИОКР **«ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ГОРЕЛОЧНОГО БЛОКА АППАРАТА «ТАНДЕМ»**, Договор №131ф/227/6137-Д от 27.10.2023 между АО «НИИ НПО «ЛУЧ» и ФГБУН ФИЦ ПХФ и МХ РАН.