

Информация о выполнении второго Этапа проекта «Исследование способов воздействия на образование оксидов азота с целью их подавления при сжигании природного газа в камерах сгорания перспективных газовых турбин», выполняемого в рамках работы с РНФ Соглашение № 17-19-01563 в 2017 году

1. Разработана и внедрена на стенде система автоматического управления с защитой от виброгорения, автоматическим управлением клапанами, системой сбора и хранения информации

Схемы экспериментального стенда ОАО "ВТИ", включая топливную схему стенда и модельной камеры сгорания (КС) представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

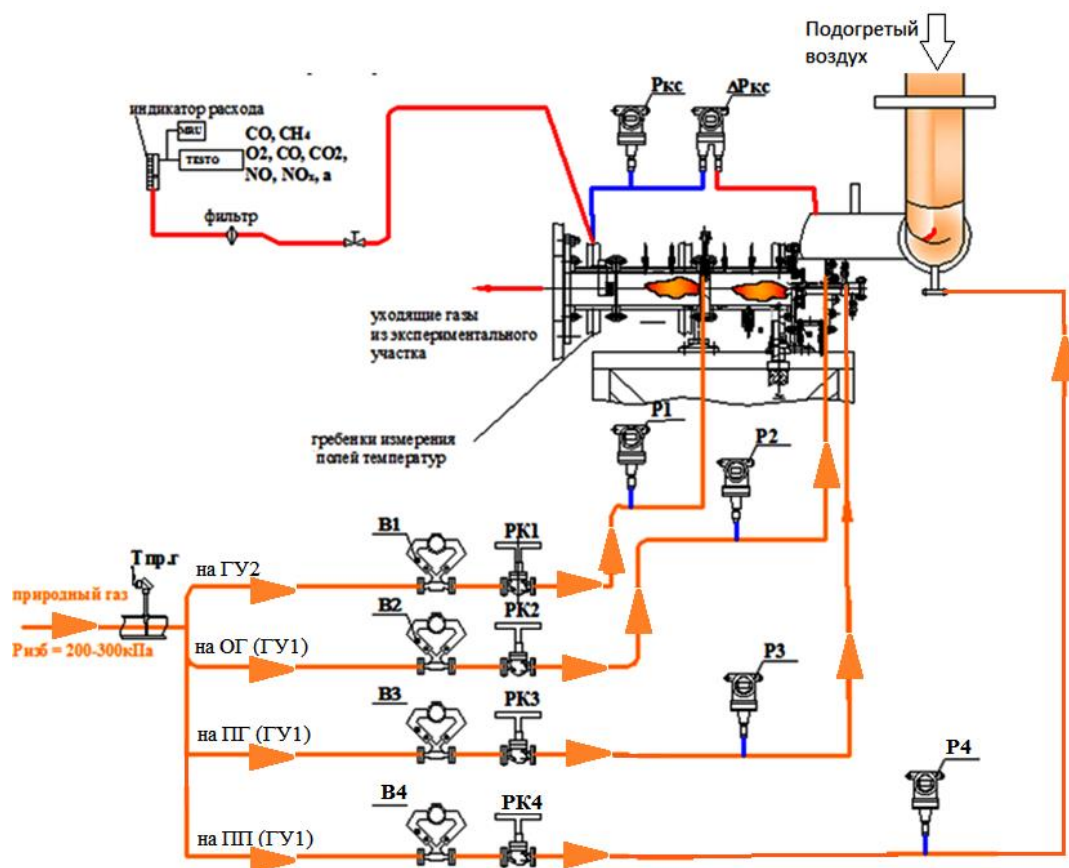


Рисунок 1. Топливная схема стенда с модельной КС

В экспериментальной установке организовано четыре независимые линии подачи топливного газа:

- в пилотную горелку (далее по тексту ПП ГУ1 см. рис.1),
- в трубопровод подогретого воздуха за 1,5 м до входа в горелку ГУ1 (далее по тексту ПП ГУ1 см. рис.1 и рис. 2 поз. 4),
- в топливные трубки, расположенные над лопатками радиального завихрителя основной горелки (далее по тексту ОГ ГУ1 (см. рис.1 и рис. 2 в поз. 7в),

- в топливные отверстия пережима-коллектора (далее по тексту ГУ2 см. рис. 1 и рис. 2а поз. 11).

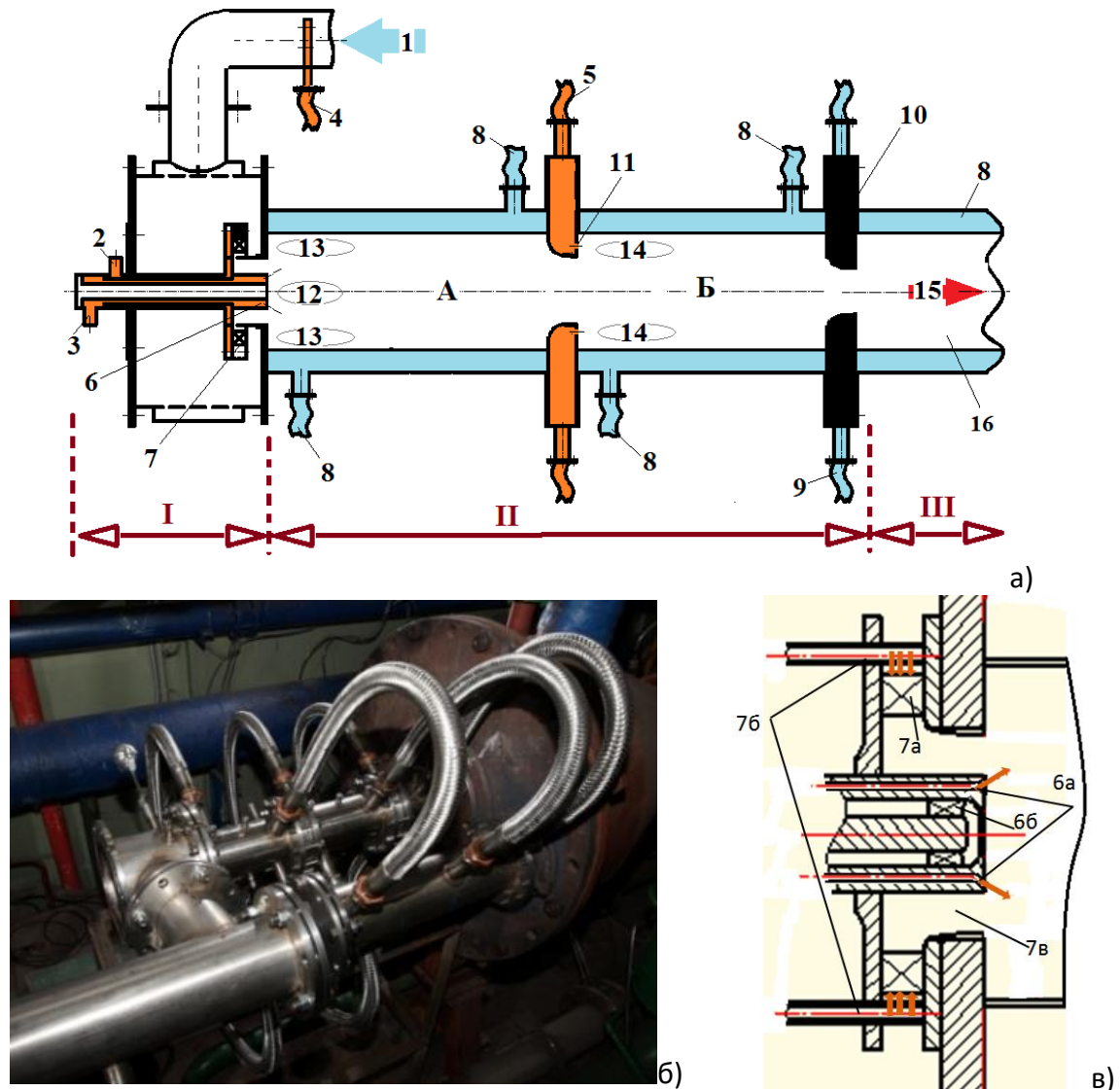


Рисунок 2. Модельная КС: а - схема; б - фотография испытательного отсека; в - схема ГУ1: I, II и III - секции КС;

1 -горячий воздух на КС; 2- топливо к ПГ ГУ1; 3- топливо к ОГ ГУ1; 4 - топливо на смешительное устройство для получения ТВС1; 5 - топливо на ГУ2; 6, 6а и 6б - ПГ с отверстиями подачи пилотного топлива и пилотным завихрителем, соответственно; 7, 7а, 7б и 7в - ОГ ГУ1, лопатки завихрителя, топливные трубки с отверстиями подачи топлива и кольцевая зона перемешивания, соответственно; 8 - воздух на рубашки охлаждения ЖТ; 9 - вода на охлаждение сопла; 10 - выходное сопло; 11 - топливные отверстия ГУ2 ; 12 и 13- центральная и угловая зоны рециркуляции 1-й ступени горения, соответственно; 14 - угловая зона рециркуляции 2-й последовательной ступени горения; 15 - горячие газы из КС; 16 - выхлопная секция; А и Б - первая и вторая ступень горения КС, соответственно

Система управления стендом включает в себя управление клапанами расхода топлива для всех четырех каналов: ПГ ГУ1, ПП ГУ1, ОГ ГУ1 и ГУ2. Параметрами, управляющими процессом являются: коэффициент избытка воздуха камеры сгорания - $\alpha_{КС}$; коэффициент избытка воздуха первой зоны - $\alpha_{1зоны}$ и доля топлива в ОГ ГУ1 - MFR.

Режим работы КС выставляется по $\alpha_{КС}$ и температуре воздуха на входе. Режим работы первой зоны выставляется за счет регулирования $\alpha_{1зоны}$. Устойчивость работы первой зоны обеспечивается регулированием топлива в ОГ ГУ1, т.е. MFR.

В рассматриваемом исследовании топливо в пилотную горелку подавалось только для розжига КС, его влияние на исследуемые процессы не рассматривалось.

При проведении исследований измерялись: температуры, давления, расходы воздуха и газа на входе КС по каждой газовой линии; потери давления на ГУ, секциях жаровой трубы и всей камере сгорания, температура газов и эмиссионные характеристики (концентрации O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 , CH_4) на выходе КС. Все измеряемые параметры записывались в реальном времени автоматической системой сбора информации.

2. Организован смеситель для получения идеальной гомогенной смеси и проведены замеры полей концентраций на выходе из смесителя

Для получения идеальной гомогенной смеси топливо через смесительное устройство впрыскивалось в трубопровод подогретого воздуха (см. рис. 1 и рис. 2). Неравномерность поля концентрации, замеренная при помощи трехточечного поворотного зонда, при данном способе подачи топлива и подготовки топливовоздушной смеси не превышает 4 %. Для сравнения, при подаче топлива в лопатки завихрителя ОГ неравномерность составляет 15 %.

Исследования эмиссий NO_x показали, что за счет снижения неравномерности поля концентрации с 15% до 4% на выходе из зоны предварительного смешения эмиссии NO_x снижаются от 2% при температуре пламени 1500°C до 34% при 1700°C.

3. Проведение экспериментальных исследований сжигания идеально перемешанной топливовоздушной смеси

В ходе экспериментальных исследований изучено влияние на эмиссию оксидов азота способа подачи топлива в КС, начальной температуры горения, скорости потока в жаровой трубе КС, впрыска воды. Построены экспериментальные зависимости эмиссий веществ от исследуемых параметров при различных коэффициентах избытка воздуха (температуры горения) в КС.

В ходе исследований также был изучен диапазон устойчивой работы камеры сгорания при сжигании в ней идеально перемешанной ТВС при различных параметрах входного воздуха.

Получено, что пульсации давления значительно в меньшей степени зависят от температуры воздуха на входе в камеру сгорания, чем от температуры пламени в зоне горения и в исследуемой камере сгорания наступают при условии достижения температуры пламени ТВС1 ~1280 - 1300°C. Диапазон устойчивой работы камеры сгорания удалось расширить до температуры в зоне горения ниже 1180°C за счёт создания радиальной неравномерности на выходе из ОГ.

4. Проведены экспериментальные исследования возможностей снижения образования оксидов азота путем организации последовательного многозонного сжигания топлива.

Были проведены экспериментальные исследования КС с двумя способами подачи топлива во вторую зону по исследованию положения мест подачи топлива (топливовоздушной смеси) по зонам; распределения топлива по зонам; средней осевой скорости продуктов сгорания и размеров зон горения, в результате которых было показано, что :

- организация двух ступеней сжигания топлива при высоких температурах газов на выходе является эффективным методом снижения эмиссий NOx при тех же эмиссиях CO;
- организация кинетической второй зоны является эффективной диффузионной для снижения выбросов NOx;
- сокращение длины второй зоны горения приводит к снижению эмиссий NOx;
- снижение выбросов NOx достигает ~ 70 % при использовании схемы двухступенчатого сжигания топлива и чем выше температура газов на выходе, тем значительнее эффект.
- ограничивающим фактором по сокращению времени пребывания, длины второй зоны являются эмиссии CO.