

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГТУ НА УРОВЕНЬ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Т. В. Шаймарданов<sup>1</sup>, Н. С. Сенюшкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> timurSH2@mail.ru, <sup>2</sup> aviastar-ufa@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Рассмотрены вредные влияния ГТД при различных режимах ГТД. Рассмотрены основные типы выбросов ГТД и различные методы борьбы с вредными влияниями газотурбинного двигателя. Также были рассмотрены основные процессы при сжигании газового топлива в камере сгорания. Описаны процессы появления оксидов азота и оксидов углерода. Рассмотрены данные процессы на основе реакции Зельдовича и Фенимора. Для рассмотрения данных процессов была выбрана газовая турбина *SGT800*. Построена термодинамическая модель газовой турбины *SGT800*. Построены графики влияния параметров ГТД на эмиссии выбросов.

**Ключевые слова:** ГТД; оксид углерода; оксид азота; камера сгорания; шумовое воздействие; неполное сгорание топлива.

Производство тепловой и электроэнергии в настоящее время сопровождается достаточным высоким уровнем негативного воздействия на окружающую среду. В рамках Киотского протокола, согласно которым необходимо обеспечить к 2020 году сокращение производственных выбросов в атмосферу на 40 % относительно нынешнего уровня. На конференции в Париже 2015 года было принято «Парижское соглашение», по которому все страны, должны уменьшить концентрацию газов в окружающей среде. Главным значением для окружающей среды является разовая и среднесуточная предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ, попадающих в атмосферу. Наиболее вредными веществами являются диоксиды и оксиды азота, оксиды серы, оксиды углерода.

При использовании ГТД, основными способами борьбы с вредными выбросами с продуктами сгорания следует считать разного рода переделку КС с горелочными устройствами, организацию самого процесса сгорания топлива в КС, включая метод предварительного смешения порции воздуха и топлива перед подачей их в КС и т.п.

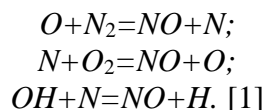
Огромное количество исследования процессов горения в КС ГТУ показывают,

что основным направлением по снижению выбросов  $NO_x$  следует считать уменьшение зоны горения с максимальным уровнем температуры. Также при эксплуатации ГТУ одним из вреднейших факторов является шумовое воздействие на окружающую среду. Известно, что основными первичными источниками шума являются подвижные элементы газотурбинной установки. Шум, создаваемый ГТД, в общем случае складывается из следующих источников: основное технологическое оборудование, дымовые трубы, газовые компрессоры, воздухозаборные устройства ГТД.

Для борьбы с шумовым отходящим воздействием ГТУ обычно используют: глушение шума уменьшением выходной скорости газовой струи; значительное снижение шума впрыском воды в газоподвод можно получить лишь при больших относительных расходах воды; глушение шума уменьшением степени турбулентности струи выхлопных газов; глушение шума турбулизацией потока.

В ГТД в качестве окислителя топлива используется атмосферный воздух. И благодаря этому происходят химические реакции с элементами топлива. При этом возникают различные производственные выбросы

$NO_x$ ,  $NO$ , несгоревшие углеводороды. Существует два механизма образования оксидов азота. Термические оксиды азота образуются в результате реакции атмосферного азота с кислородом в процессе горения. Механизм образования оксидов азота описан Я.Б. Зельдовичем, при помощи следующих реакций:



Обнаружено, что образование оксида азота достигает максимального значения при обедненном топливе, поскольку это является следствием между конкуренции между топливом и азотом за доступный кислород.

А также существует образование быстрых оксидов: при сравнительно низких температурах образуются в результате реакции азота с углеводородными радикалами при температурах около 1000К. Данный процесс описан Фенимором:



Данная реакция играет главную роль, поскольку в быстром механизме реакция протекает с небольшой энергией активации.

Образование выбросов  $NO_x$  по быстрому механизму Фенимора присутствует в начальной зоне разложения газового топлива. На рис. 1 описывается возможность образования реакций с участием различных радикалов.

$NO$  может образовываться в ряде последующих реакций с участием различных радикалов, например:

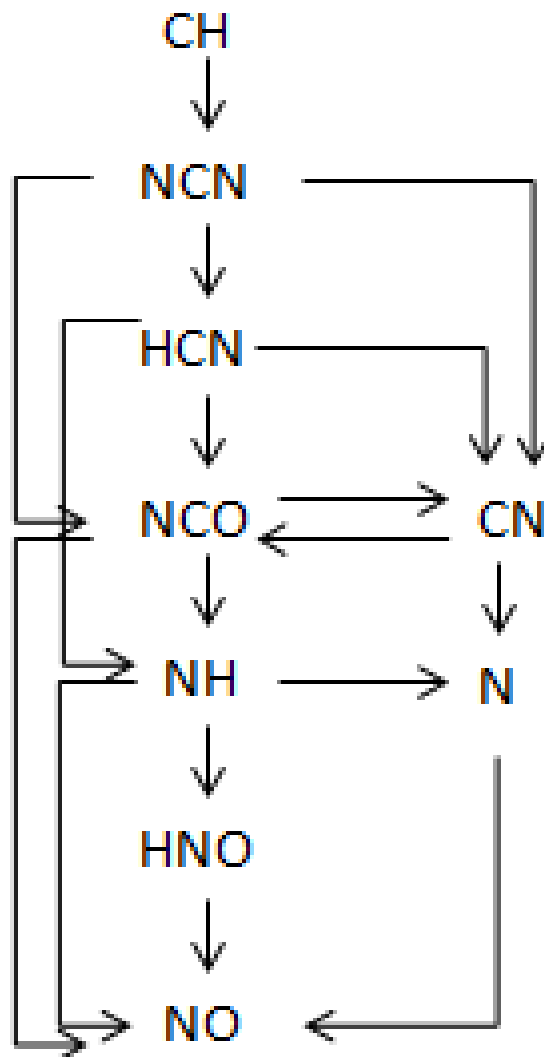
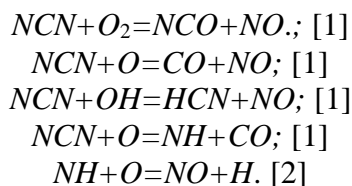


Рис. 1. Механизм образования быстрых оксидов [2]

Основной отличительной особенностью образования оксидов азота является значительная разница в энергии активации реакции. При обедненном топливе образование оксидов азота имеет большее значение.

Установлено, что при увеличении времени пребывания продуктов сгорания в высокотемпературных зонах влияет линейно на количество выбросов  $NO_x$ . На рис. 2 представлена влияние пребывания продуктов сгорания на выбросы оксида углерода.

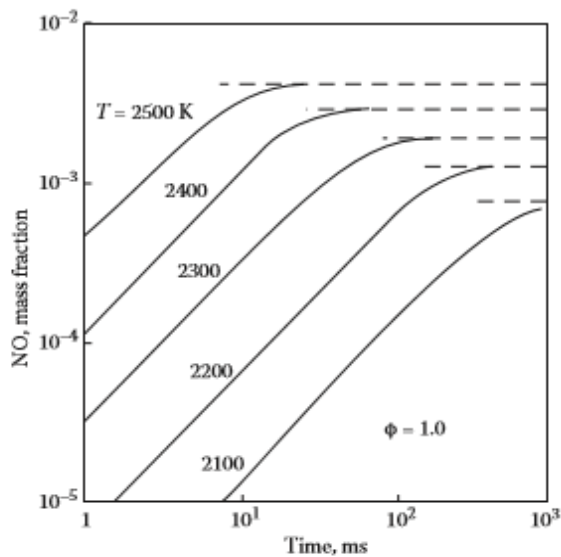
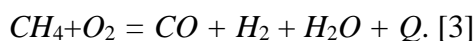


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость термического  $NO$  от температуры пламени [1]

Этот рисунок показывает, что  $NO$  снижается по мере снижения температуры, особенно при нормальном времени пребывания в камере сгорания около 5мс.

При наличии продуктов неполного сгорания в значительных концентрациях приводит к загрязнению атмосферы и образованию оксида углерода, водорода насыщенного, ненасыщенные.  $CO$  является промежуточным веществом в реакции горения газовых видов топлив.

Причинами выброса  $CO$  является: нехватка кислорода, замораживание реакции, малое время пребывания реагирующей смеси в зоне горения, диссоциации  $CO_2$  при высоких температурах. Данный процесс описывается химической реакцией при неполном сгорании топлива:



Основными причинами неполного сгорания топлива является: сжигание газов с недостаточным количеством воздуха; плохое смешение горючих газов и воздуха до и в процессе горения; чрезмерное охлаждение пламени до завершения реакции горения. Также при возникновении недостатка окислителя могут образовываться несгоревшие углеводороды. Причинами возникновения несгоревших углеродов в выхлопных газах является неполное сгорание. Все способы по сокращению  $CO$  и  $UHC$  основана на по-

вышении эффективности сгорания. При работе в оптимальном режиме камеры сгорания, плохое смешивание может привести к локальным областям, которые имеют обедненное топливо, чтобы обеспечить достаточную скорость горения. На практике скорость образования сажи в большей степени определяется физическими процессами распыления и смешивания топлива и воздуха. При рассмотрении процесса горения  $CO$  и  $NO_x$ , создается противоречие борьбы с выбросами  $NO_x$  и  $CO$ . При попытке снижении выбросов оксида углерода при температурах горения выше 1600К. При этом увеличивается выбросы оксиды азота прямо пропорционально. При использовании графика влияние температуры первичной зоны (рис.3) можно увидеть, что оптимальным значением графика температур является от 1700К до 1900К. В этом интервале, значение выбросов оксида углерода и оксида азота имеет оптимальное значение.

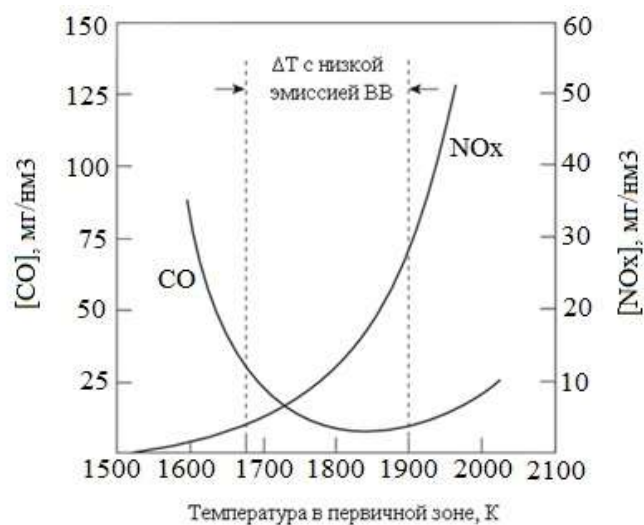


Рис. 3. График влияния температуры первичной зоны на выбросы  $CO$  и  $NO_x$ . [1]

Для рассмотрения этих процессов, была выбрана газовая турбина  $SGT800$  по параметрам  $ISO$  (288К, 101,325кПа) и построена термодинамическая модель ГТД при помощи пакета  $Gasturb$ .

Характеристики ГТД[4]:

Мощность: 47,5МВт.

Скорость вращения турбины: 6608 об/мин.

Расход выхлопных газов: 131,5кг/с.

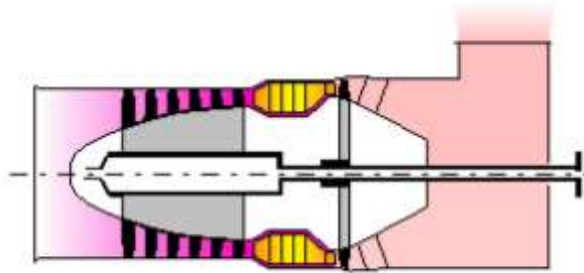


Рис. 4. Термодинамическая модель ГТД в пакете *Gasturb*.

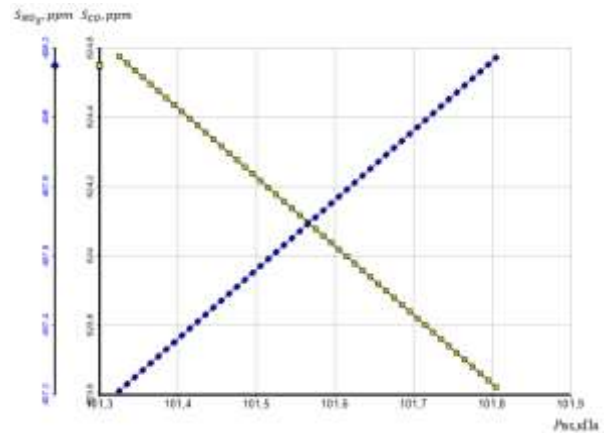


Рис. 7. График влияния входного давления на выбросы  $NO_x$  и  $CO$

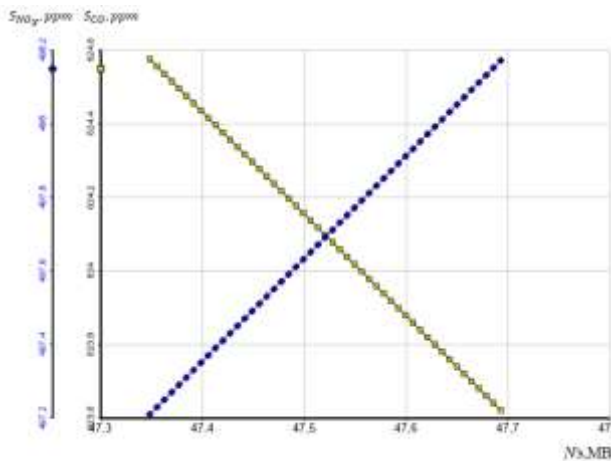


Рис. 5. График влияния электрической мощности ГТД на выбросы  $NO_x$  и  $CO$

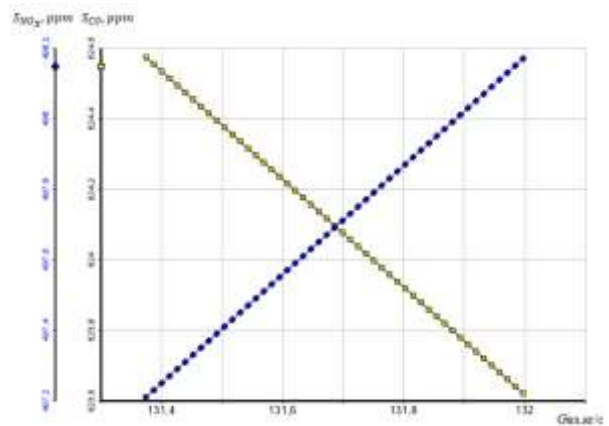


Рис. 8. График влияния массового расхода ГТД на выбросы  $NO_x$  и  $CO$

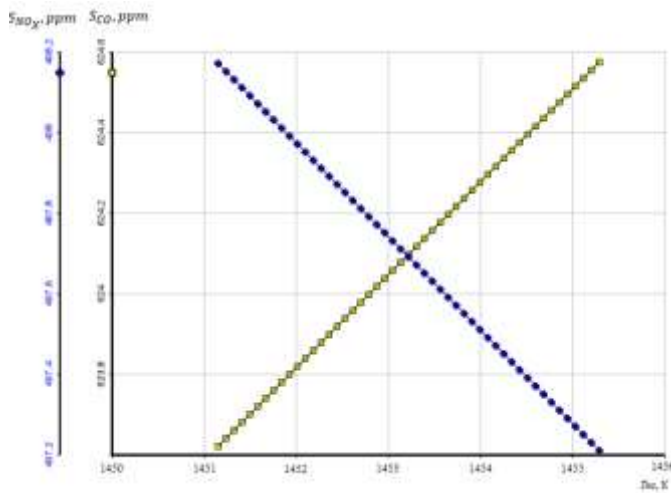


Рис. 6. График зависимости эмиссии от температуры первичной зоны

На основе термодинамической модели ГТУ, были построены характеристик графиков влияния массового расхода, электрической мощности, температуры первичной зоны, входного давления на выбросы  $CO$ ,  $NO_x$ . А также был проведен анализ характеристик ГТУ по соотношению эмиссии  $NO_x$  и  $CO$  и было получено обоснование снижения выбросов  $NO_x$  и увеличения  $CO$  при увеличении характеристик ГТУ. В частности, при увеличении характеристик массового расхода, входного давления, температуры первичной зоны, влияние электрической энергии происходит «перекос» характеристик. И данный перекос характеристик создает проблемы для борьбы с эмиссией ГТУ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lefebvre A. H.** Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions, thirded (дата обращения 17.11.2019). [ Lefebvre A. H. (2019, Nov. 1) Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions, thirded ]

2. **NO<sub>x</sub>**(Оксиды азота) [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/NOx\(%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4%D1%8B%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B0\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/NOx(%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4%D1%8B%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B0)). (дата обращения 1.11.2019) [ NO<sub>x</sub> (Nitrogen oxides) (2019, Nov. 1) [Online] URL:[https://ru.wikipedia.org/wiki/NOx\(%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4%D1%8B%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B0\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/NOx(%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4%D1%8B%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B0)). ]

3. **Токсичные** ингредиенты продуктов сгорания органического топлива [Электронный ресурс] URL: <http://promgorelki.ru/2013-05-15-08-58-18>. (дата обращения 13.11.2019) [ Toxic ingredients of combustion products of organic fuel (2019, Nov. 13) [Online] URL: <http://promgorelki.ru/2013-05-15-08-58-18> ]

4. **Технические** характеристики турбины SGT800 [Электронный ресурс] URL: [https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/proizvodstvo-energii/gazovie\\_turbiny/sgt-800.html](https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/proizvodstvo-energii/gazovie_turbiny/sgt-800.html) (дата обращения 14.11.2019). [ SGT800 Turbine Specifications (2019, Nov. 14) [Online] URL: [https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/proizvodstvo-energii/gazovie\\_turbiny/sgt-800.html](https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/proizvodstvo-energii/gazovie_turbiny/sgt-800.html). ]

## ОБ АВТОРАХ

**ШАЙМАРДАНОВ Тимур Василевич**, магистрант 2-го курса каф. АТиТ. Дипл. бакалавр по направлению «Энергетическое машиностроения» (УГАТУ, 2018).

**СЕНЮШКИН Николай Сергеевич**, доцент каф. АТиТ, ст. науч. сотр. НИЛ САПР-Д, Зам. Декана ФАДЭТ. Диплом инж. по авиац. двигателям и энер. уст. (УГАТУ, 2005). Канд. техн. наук по тепл., электроракетн. двигателям и энергоустановкам ЛА (УГАТУ, 2009).

## METADATA

**Title:** Influence of GST regime parameters on the emission level of harmful substances

**Authors:** T. V. Shaymardanov <sup>1</sup>, N. S. Senyushkin <sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa state Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> timurSH2@mail.ru, <sup>2</sup> aviastar-ufa@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 130-134, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The harmful effects of gas turbine engines under various gas turbine engine modes are considered. The main types of gas turbine engine restrictions and various methods of dealing with the harmful effects of a gas turbine engine are considered. The main processes during the combustion of gas fuel in the combustion chamber were considered. The processes of the appearance of nitric oxide and carbon monoxide are described. Consideration of these processes based on the reaction-effect of Zeldovich and Fenimore. An SGT800 gas turbine was selected to consider these processes. A thermodynamic model of the SGT800 gas turbine is built. Plots of the influence of gas turbine engine parameters on emissions are constructed.

**Key words:** GST, carbon monoxide, nitric oxide, combustion chamber, noise exposure, incomplete combustion of fuel

**About authors:**

**SHAIMARDANOV, Timur Vasilevich**, 2nd year undergraduate AT&T Dipl.-Bachelor in the field of "Energy Engineering" (USATU, 2018).

**SENYUSHKIN, Nikolay Sergeevich**, Associate Professor, Department AT&T, Art. scientific al. NIL CAD-D, Deputy. Dean of FADET. Engineering diplom on aircraft engines and energy plant (USATU, 2005). Cand. Tech. Science in heat., Electro rocket. engines and power plants LA (USATU, 2009).