

УДК 621.431.75

## ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ ГАЗА В КАНАЛАХ БЛОЧНОГО КАТАЛИЗАТОРА С КОМПЛАНАРНЫМИ КАНАЛАМИ

© 2013 Ю. А. Кныш<sup>1</sup>, Ю. И. Цыбизов<sup>2</sup>, Д. Н. Дмитриев<sup>1</sup>, А. А. Горшкалёв<sup>1</sup><sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)<sup>2</sup>Открытое акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

Рассмотрены вопросы образования вихревых жгутов, повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора. Спроектирована новая конструкция каталитического блока. Выполнены гидродинамические расчёты и экспериментальные исследования микровихревых потоков в каналах катализатора. Обозначены цели и задачи дальнейшей работы.

*ГТД, ГТУ, катализатор, микровихревой поток, каталитическая конверсия метана, компланарно-пересекающиеся каналы, гетерогенное горение, тепло- и массоперенос, закрученный поток.*

В последние годы наблюдается резкий рост интереса исследователей к водородосодержащим топливам применительно к силовым установкам на основе газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ), а также поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [1, 2]. В качестве основного источника водорода рассматривается синтез-газ ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), получаемый путём каталитической конверсии метана [3]. На этом пути предстоит решить ряд сложных научно-технических проблем:

- синтезировать новые каталитические материалы;
- разработать конструкцию высокоэффективного каталитического блока-реактора синтез-газа.

Принято считать, что к настоящему времени в основном решены проблемы выбора активных каталитических композиций [4]. Главными лимитирующими факторами развития новых идей стали вопросы радикального улучшения тепло- и массопереноса, оптимизации процессов гетерогенного горения и минимизации массогабаритных размеров реакторов синтез-газа [4].

Среди новых направлений поиска оптимальных конструкций каталитического реактора сформировались такие

направления, как блочно-сеточные реакторы [3], блоки с послойной навивкой гофрированной металлической фольги [3], микроблоки по типу печатных плат с перекрестными каналами [4] и некоторые другие конструкции.

В отличие от ДВС, для которых конструкции каталитических нейтрализаторов достаточно хорошо отработаны, в ГТУ главной проблемой является обеспечение минимальных гидравлических потерь при удовлетворительной эффективности каталитических процессов. Большие расходы рабочего тела (свыше 60...100 кг/с) и, соответственно, скорости потока более 30...70 м/с снижают эффективность известных технических решений до неудовлетворительных значений гидравлических потерь.

Выполненные в СГАУ эксперименты по прямому использованию автомобильных каталитических блоков в условиях, приближённых к параметрам ГТУ, показали 40%-ю эффективность при четырехкратном превышении допустимых гидравлических потерь. Эксперименты в направлении снижения гидрпотерь путем увеличения размеров ячейки каталитического блока планируется продолжить. Однако эти опыты имеют скорее научный интерес, нежели практическую значи-

мость. Необходим принципиально новый подход к повышению эффективности рабочего процесса в каналах каталитических блоков. В центре газодинамических исследований СГАУ предложен принципиально новый способ организации каталитического окисления в комбинации с горением в газовой фазе. В основу технологии положена известная в теплотехнике схема компланарно-перекрестных каналов, обеспечивающая высокие показатели по интенсивности теплообмена [5].

Традиционно в металлических катализаторах блочного типа размеры микроканалов выбираются небольшими, от 0,3...0,5 до 2...3 мм. Это делается из соображений получения максимально возможной площади поверхности катализатора. Течение газа в микроканалах осуществляется при очень низких числах  $Re$  и является, как правило, ламинарным. Тепло-массообмен обеспечивается главным образом молекулярной диффузией. Основным недостатком такой схемы организации рабочего процесса является низкая скорость удаления из микропор каталитической поверхности продуктов гетерогенной каталитической реакции. Кроме того, в ходе каталитической конверсии метана нередко образуются твердые частицы углерода, которые могут закупорить микроканалы катализатора. Таким образом, в традиционных катализаторах лимитирующим фактором оказывается низкая скорость тепло-массообменных процессов при высокой скорости собственных каталитических гетерогенных реакций, идущих непосредственно на поверхности катализатора.

Предложено принципиально изменить условия протекания химических реакций в микроканале блочного катализатора. С этой целью поперечные размеры канала увеличиваются на порядок, то есть диаметр канала достигает 5...10 мм (имеется ввиду условный диаметр, так как форма канала имеет прямоугольную, квадратную или иную геометрию).

Каналы указанных размеров позволяют организовывать микровихревое те-

чение газа с достаточно высокой степенью закрутки. Увеличение диаметра канала приведёт к уменьшению «активной» площади поверхности катализатора, что безусловно снизит его эффективную производительность. Предполагается, что многократное повышение интенсивности теплообмена в канале с микровихревым потоком компенсирует с положительным итогом потери активной площади катализатора.

Для оценки эффективности тепло-массообмена в вихревом потоке было выполнено численное моделирование течения в микроканалах катализатора. Вычисления проводились в программном комплексе ANSYS Fluent.

Внешний вид модели катализатора с компланарно-пересекающимися каналами размером 8×8 мм представлен на рис. 1.

Результаты расчётов векторных полей скорости по поперечному сечению канала представлены на рис. 2.

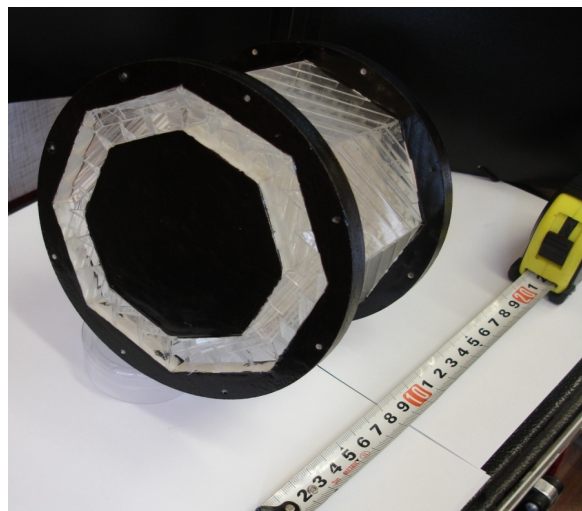


Рис. 1. Фотография модели каталитического блока

Закрученный поток, как известно, генерирует образование массовых сил в газовом потоке, которые связаны с возникновением центростремительных ускорений. Обработка результатов моделирования показала, что с увеличением количества взаимных пересечений по длине канала закрутка потока увеличивается.

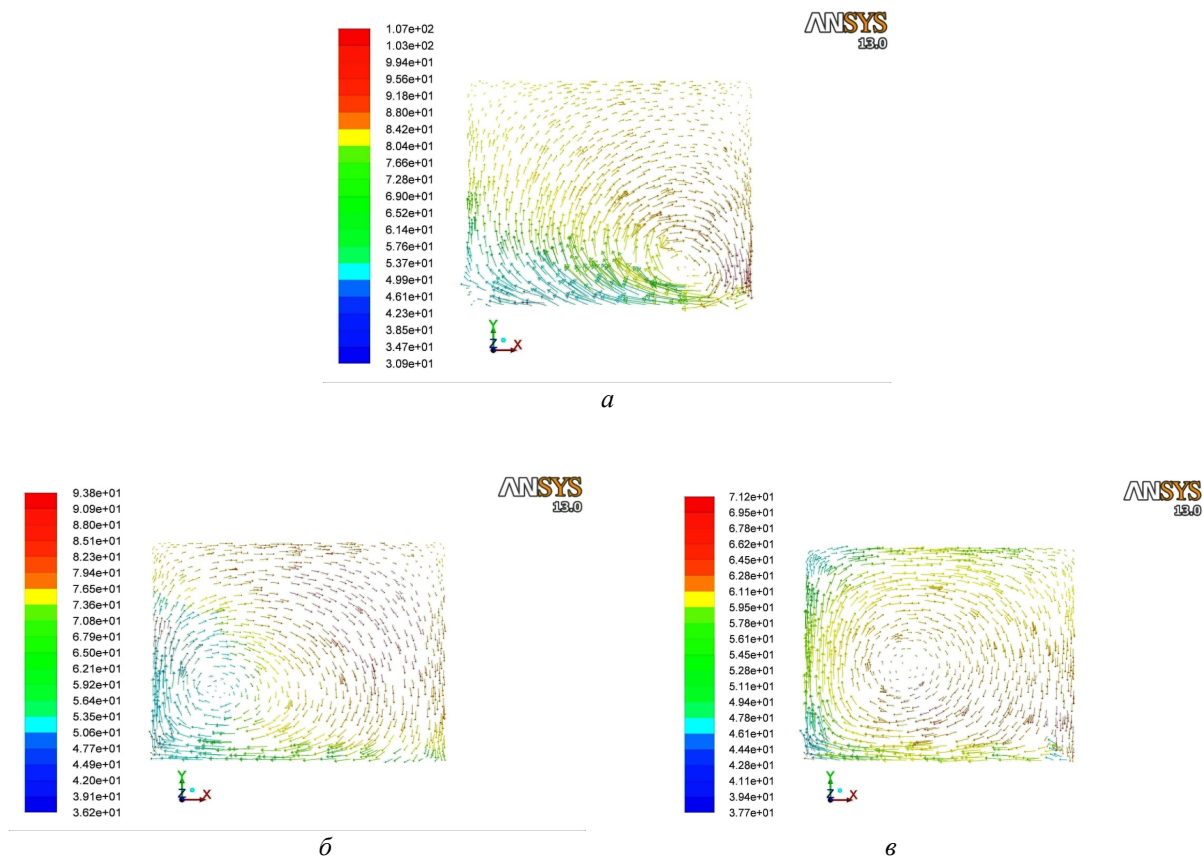


Рис. 2. Расчёт распределения векторного поля скорости по сечениям канала:  
 а – после пересечения с одним каналом;  
 б – после пересечения с тремя каналами;  
 в – после пересечения с одиннадцатью каналами

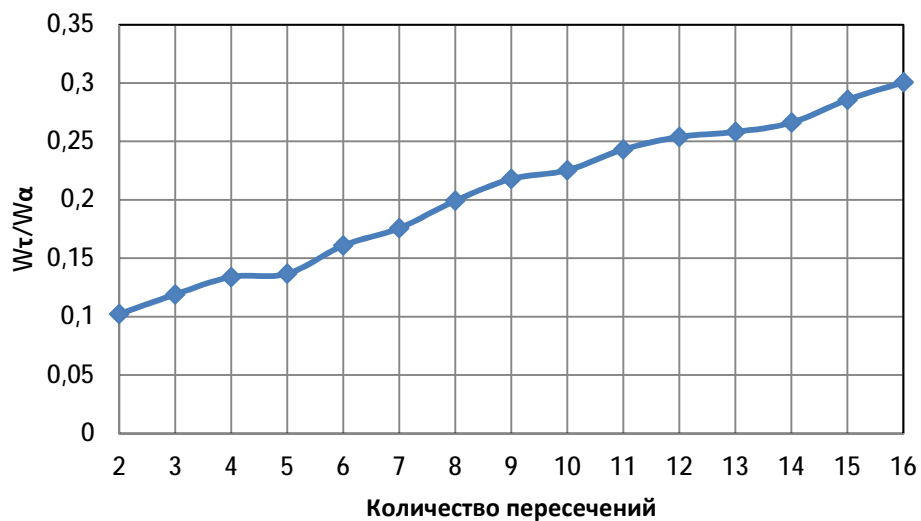


Рис. 3. Зависимость центростремительного ускорения потока от количества пересечений каналов

Для выбранного масштаба каталитического блока с каналами 8×8 мм, предварительные испытания на экспериментальных макетах показали, что при скоростях потока 20 м/с и ускорении 3000 g огневой шнур пламени локализуется в центре канала.

Проблема, затронутая в данном научном исследовании, является актуальной как в научном, так и в практическом аспектах.

Научная новизна состоит в новой концепции организации рабочего процесса в каналах блочного катализатора. Идея концепции включает в себя:

- использование каталитически активных материалов на основе цветных и благородных металлов;

- использование эффектов действия массовых сил в сильно закрученных газовых потоках на поверхности катализатора;

- использование эффектов высокого и сверхвысокого уровня турбулентности (более 50-60%), обеспечивающих выгорание смеси с минимальными концентрациями вредных веществ.

### Библиографический список

1. Арутюнов, В.С. Окислительная конверсия метана [Текст] / В.С. Арутюнов, О.В. Крылов // Успехи химии. – 2005. – №74(12). – С. 1216–1245.

2. Применение синтез-газа в качестве добавки к основному топливу в транспортных средствах: состояние и перспективы [Текст] / В.А. Кириллов, Н.А. Кузин, В.В. Киреенков [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2011. – Т. 45, – №2. – С. 139 – 154.

3. Шаравин, Э.А. Генератор синтез-газа для двигателей внутреннего сгорания [Текст]/Э.А. Шаравин, Е.Ю. Аристова // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 8 (88). – С. 30–38.

4. Макашкин, Л.Л. Микроканальные каталитические системы для водородной энергетики [Текст] / Л.Л. Макашкин, В.Н. Пармон // Российский химический журнал. – 2006. – Т.1, – №6. – С. 19 – 25.

5. Нагога, Г.П. Эффективные способы охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин [Текст] / Г.П. Нагога. – М.: Моск. авиац. ин-т, 1996. – 100 с.

## FORMATION OF MICROVORTEX GAS FLOWS IN CHANNELS OF A BLOCK CATALYST WITH COPLANAR CHANNELS

© 2013 Y. A. Knysh, Y. I. Tsibizov, D. N. Dmitriev, A. A. Gorshkalev

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

<sup>2</sup>«KUZNETSOV» plc

The paper deals with the formation of vortex cores and improving the efficiency of an oxidation catalyst. A new design of a catalytic unit is presented. Hydrodynamic calculations and experimental analysis of microvortex currents in the channels of the catalyst are presented. The goals and objectives for future work are identified.

*GTE, GTP, catalyst, microvortex flow, catalytic conversion of methane, coplanar cross streams, heterogeneous combustion, heat and mass transfer, swirling flow.*

### Информация об авторах

**Кныш Юрий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [Knysh194@mail.ru](mailto:Knysh194@mail.ru). Область научных интересов: газодинамика и горение в закрученных потоках.

**Цыбизов Юрий Ильич**, начальник отдела ОКБ, Открытое акционерное общество «Кузнецов», г. Самара. Область научных интересов: рабочий процесс в камерах сгорания ГТД.

**Дмитриев Дмитрий Николаевич**, инженер научно-образовательного центра газодинамических исследований, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [ddn-rover@mail.ru](mailto:ddn-rover@mail.ru). Область научных интересов: экспериментальное исследование процессов горения в камерах сгорания ГТД.

**Горшкалёв Алексей Александрович**, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [AGorsh@bk.ru](mailto:AGorsh@bk.ru). Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

**Knysh Yury Alekseevich**, doctor of technical science, professor of the department of theory of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-Mail: [Knysh194@mail.ru](mailto:Knysh194@mail.ru). Area of research: Gas dynamics and combustion in swirling flows.

**Tsibizov Yury Ilyich**, head of the research and development department, «KUZNETSOV» plc. Area of research: processes in combustion chambers of gas turbine engines.

**Dmitriev Dmitry Nikolaevich**, engineer of the scientific and educational center of gas dynamic research, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: experimental research of aerodynamic processes in combustion chambers of gas turbine engines.

**Gorshkalev Alexey Aleksandrovich**, engineer of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [AGorsh@bk.ru](mailto:AGorsh@bk.ru). Area of research: work processes of heat engines.