



**ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 10-2023**  
заседания Ученого совета Института

г. Новосибирск

22 декабря 2023 г.

**СЛУШАЛИ:** сообщение главного научного сотрудника д.ф.-м.н. Шарыпова О.В. о выполнении дополнительного этапа фундаментальных научных исследований по теме: «Фундаментальные исследования процессов горения и детонации применительно к развитию основ энерготехнологий» – Крупный научный проект по приоритетным направлениям научно-технологического развития в рамках подпрограммы «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» по Соглашению о предоставлении гранта от 29.09.2020 № 075-15-2020-806 (Руководитель проекта – академик РАН Маркович Д.М.).

Фундаментальные научные исследования выполняются консорциумом в составе: ИТ СО РАН, ИХКГ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, НГУ, ТПУ, ДВФУ, МГУ, ОИВТ РАН, ФИЦ ХФ РАН. За отчетный этап ИТ СО РАН (грантополучатель) и соисполнителями (участники консорциума) работы выполнены в полном объеме в соответствии с Техническим заданием и Планом-графиком на 2023 год. Достигнуты и превышены все показатели, установленные в Соглашении на 2023 год. В 2023 году получены запланированные результаты фундаментальных исследований:

1. На основе измерений мольных долей реагентов, основных и ключевых промежуточных продуктов в ламинарном пламени предварительно перемешанных смесей  $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$  при коэффициенте избытка топлива от 0,8 до 1,2, доле водорода 0–100% и давлении 1-5 атм разработан сокращенный и компактный химико-кинетические механизмы горения метано-водородных топливно-воздушных смесей. С использованием методов панорамной оптической диагностики определены параметры крупномасштабных когерентных структур и пульсаций в модельной вихревой камере сгорания, обоснован новый подход к подавлению термоакустических пульсаций в камерах сгорания газовых турбин. Получены данные о влиянии разбавления метана водородом на скорость образования радикала  $\text{CN}$  при горении струй перспективных топливных смесей.

2. Экспериментально и численно исследованы условия самовоспламенения смесей водорода с метаном при импульсном истечении из ёмкости высокого давления в атмосферу, для различных условий истечения определены критические концентрации метана в смеси с водородом, обеспечивающие самовоспламенение при заданном давлении. Впервые получены экспериментальные данные о самовоспламенении метано-водородной смеси при её истечении под высоким давлением. Показано, что критическое давление, обеспечивающее самовоспламенение, зависит от начальной температуры смеси и характеристик диафрагмы, отделяющей смесь от окружающей среды.

3. Получены и проанализированы газодинамические и энергетические параметры волн горения и детонации в горючих системах  $\text{CH}_4\text{--H}_2\text{--O}_2\text{--N}_2$  при изменении начального давления, температуры и соотношения концентрации топливных компонентов. Измеренные параметры детонации находятся в хорошем соответствии с результатами расчётов. Показано, что при предварительном нагреве обедненных горючих смесей критическая энергия инициирования уменьшается на несколько порядков. В условиях ограниченного канала показано, что акустическое воздействие на процессы при окислении метана в потоке продуктов сгорания водорода позволяет повысить полноту сгорания природного газа на 30%.

4. Построены карты режимов диффузионного горения водорода в широком диапазоне скорости истечения в атмосферу из осесимметричных микросопел с поджигом вблизи среза сопла или на удалении, при котором в отсутствие нагрева сопла реализуется сверхзвуковое истечение и поднятое пламя; показан гистерезис режимов горения при уменьшении и повышении скорости истечения

водорода в зависимости от места воспламенения микроструи; впервые получены данные о характеристиках факела, создаваемого двумя микроструями водорода при соосной и наклонной компоновке микросопел и разной скорости истечения.

5. Существенно расширена база данных по задержкам воспламенения углеводородных топлив (на примере *n*-пентана) в присутствии функциональных присадок и энергетических добавок (монометиланилин, *i*-октан, этанол, изобутанол). Получены новые данные по воспламенению и горению метано-водородных смесей с углерод-нейтральными добавками (метанол, диметилвый эфир) в широком диапазоне состава, температуры и давления применительно к условиям камер сгорания.

6. Получены зависимости показателей сжигания дизельного топлива от режимных параметров в условиях повышенного давления при впрыске перегретого водяного пара в зону горения модельной камеры сгорания газотурбинного типа, определены режимы устойчивого горения, обеспечивающие высокую полноту сгорания и снижение содержания оксидов азота в продуктах сгорания в 2-3,5 раза по сравнению с низкоэмиссионными атмосферными горелочными устройствами.

7. В результате комплексного исследования характеристик композиционных жидких топлив (на основе традиционных углеводородных топлив и производственных отходов с различными горючими добавками растительного происхождения) и процессов расслоения, перемешивания, испарения, термического разложения, газификации, распыления, зажигания и горения этих топливных смесей сформирована обширная база данных для перспективных технологий использования композиционных жидких топлив в котлоагрегатах и камерах сгорания силовых установок.

8. На опытной установке реализован режим стабильного воспламенения угольной пыли с использованием радиационных горелочных устройств с фильтрационным горением газа в пористых пластинах Ni-Al, обеспечивающих удельную тепловую мощность до 500 кВт/м<sup>2</sup>, сопоставимую с условиями топок угольных котлов. Показана перспективность использования радиационной горелки в качестве эффективного ИК-излучателя. Получены данные о снижении тепловой нагрузки на стенки циклонно-вихревой камеры сгорания с изменяемой геометрией тангенциальных воздушных сопел при горении метана во вращающемся воздушном потоке.

9. Разработан и апробирован алгоритм, основанный на сверточных нейронных сетях. Показано, что предлагаемый подход ускоряет расчеты и обеспечивает хорошую точность при проведении дополнительных итераций стандартными методами. Обоснована перспективность применения гибридных численных методов при решении задач суперкомпьютерного предиктивного моделирования для практических приложений.

На основе результатов сравнительного анализа методов машинного обучения предложена нейросетевая модель, позволяющая с высокой точностью определить аномалии в работе топливной системы авиадвигателя, предупреждая о предотказных и аварийных состояниях газотурбинных двигателей.

10. Численное моделирование на основе детальной хим.кинетики показало, что добавка определенного количества пероксида водорода и гелия в стехиометрическую водородно-воздушную смесь обеспечивает значительное снижение температуры продуктов детонации при сохранении высокой детонационной способности смеси. Определены условия инициирования детонации ударной волной, падающей на стенку, перед которой расположен слой горючей смеси повышенной плотности. Показано, что эффект фокусировки волн детонации многократно усиливает локальное динамическое воздействие на стенку по сравнению со случаем плоского слоя горючего газа.

11. Реализованы режимы непрерывной многофронтной детонации авиационного керосина с нагретым воздухом в проточной кольцевой камере сгорания ( $d=0,5$  м) при сужении выходного сечения и профилировании канала. Определены конструкции, обеспечивающие высокий удельный импульс и расширение области существования НМД (по минимальному удельному расходу воздуха и максимальному коэффициенту избытка горючего). На основе численного моделирования режимов многоголовой вращающейся детонации стехиометрической пропано-воздушной смеси в кольцевом зазоре между пластинами установлено, что при давлении торможения ниже критического происходит срыв детонационного режима. Получены тяговые характеристики устройства при разном числе волн и в зависимости от параметров торможения.

12. Экспериментально и численно определены параметры и условия перехода горения в детонацию в полуограниченных щелевых каналах с отдельной подачей топлива и окислителя. Показана возможность сокращения преддетонационного расстояния и расширения бедного концентрационного предела ПГД при увеличении длины спиралевидного участка детонационной трубы.

Полученные результаты соответствуют техническому заданию и плану-графику на 2023 год, - развиты измерительные методики, созданы установки, проведены экспериментальные и теоретические исследования физико-химических процессов. Результаты фундаментальных исследований обладают принципиальной новизной и значимостью, вносят вклад в мировую науку в области исследования горения и детонации (механика реагирующих сред, теплофизика, химическая кинетика), они ориентированы на развитие технологий, в том числе на совершенствование энергоустановок, двигателей, повышение технической и экологической безопасности, обеспечение технологического суверенитета и реализацию приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации.

**ПОСТАНОВИЛИ:** Научно-исследовательскую работу по теме «Фундаментальные исследования процессов горения и детонации применительно к развитию основ энерготехнологий» по Соглашению о предоставлении гранта от 29.09.2020 № 075-15-2020-806 (этап 2023 г.) считать принятой и выполненной в установленный срок в полном соответствии с условиями предоставления гранта.

Председатель Ученого совета  
академик РАН Д.М. Маркович

Ученый секретарь  
к.ф.-м.н. М.С. Макаров

