

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИЦ ХФ РАН

д.х.н., проф. Надточенко В.А.

«11» апреля 2022 г.



ВЫПИСКА  
ИЗ ПРОТОКОЛА №2

заседания семинара отдела горения и взрыва  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова  
Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН)  
от 31 марта 2022 г.

**Председатель:** главный научный сотрудник лаборатории горения ФИЦ ХФ РАН,  
д.ф.-м.н. Крупкин В.Г.

**Секретарь:** старший научный сотрудник лаборатории детонации ФИЦ ХФ РАН,  
к.ф.-м.н. Сметанюк В.А.

**Присутствовали:** д.ф.-м.н. Крупкин В.Г., д.ф.-м.н. Трошин К.Я., д.ф.-м.н., Фролов С.М.,  
д.ф.-м.н. Иванов В.С., д.ф.-м.н. Губин С.А., д.ф.-м.н. Марков В.В., д.ф.-м.н. Власов П.А.,  
д.ф.-м.н. Басевич В.Я., д.ф.-м.н. Ермолаев Б.С., к.ф.-м.н. Шамшин И.О.,  
к.ф.-м.н. Сметанюк В.А., к.т.н. Авдеев К.А., к.ф.-м.н. Гусев П.А., к.ф.-м.н. Аксенов В.С.,  
Зангиев А.Э., Мееров Д.Б., Иванов В.С., Казаченко М.В., Силантьев А.С., Иноземцев А.В.,  
Иноземцев Я.О.

**Повестка дня:** обсуждение диссертационной работы Садыкова Ильяса Александровича  
«Новые принципы преобразования химической энергии топлива в кинетическую энергию  
движения жидкости», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв,  
физика экстремальных состояний вещества.

**Слушали:** доклад научного сотрудника лаборатории детонации ФИЦ ХФ РАН  
Садыкова И.А. «Новые принципы преобразования химической энергии топлива в  
кинетическую энергию движения жидкости».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова  
Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН)

Диссертация Садыкова Ильяса Александровича «Новые принципы преобразования химической энергии топлива в кинетическую энергию движения жидкости» выполнена в лаборатории детонации ФИЦ ХФ РАН. В период подготовки диссертации Садыков Ильяс Александрович работал в должностях инженера-исследователя, младшего научного сотрудника и научного сотрудника лаборатории детонации ФИЦ ХФ РАН.

В 2017 году Садыков И.А. окончил физико-технологический факультет Национального исследовательского ядерного университета Московского инженерно-физического института (МИФИ) по специальности «Ядерная физика и технологии». В этом же году поступил в очную аспирантуру ФИЦ ХФ РАН. После окончания аспирантуры работает в ФИЦ ХФ РАН, в настоящее время — в должности научного сотрудника.

**Научный руководитель:** Фролов Сергей Михайлович, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории детонации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН).

После доклада состоялось обсуждение работы. В обсуждении работы участвовали:

д.ф.-м.н. Крупкин В.Г.  
д.ф.-м.н. Губин С.А.  
д.ф.-м.н. Трошин К.Я.  
д.ф.-м.н. Власов П.А.  
к.ф.-м.н. Аксенов В.С.  
к.ф.-м.н. Сметанюк В.А.

По докладу были заданы следующие вопросы:

1. д.ф.-м.н. Крупкин В.Г.: Способен ли импульсно-детонационный гидрореактивный движитель создавать тягу при отсутствии набегающего потока воды?
2. д.ф.-м.н. Губин С.А.: Какие именно эмпирические параметры требовались для верификации физико-математической модели двухфазных реагирующих течений при горении горючих смесей над свободной поверхностью воды?
3. д.ф.-м.н. Трошин К.Я.: Почему в натурных испытаниях модели лодки с «активной» газовой каверной в качестве топлива использовался водород?
4. д.ф.-м.н. Власов П.А.: Как будет вести себя импульс, передаваемый от ударной волны к пузырьковой среде, при дальнейшем повышении объемного газосодержания среды?



5. к.ф.-м.н. Аксенов В.С.: Каким образом определялся удельный импульс образца импульсно-детонационного гидрореактивного двигателя?

6. к.ф.-м.н. Сметанюк В.А.: Какой вклад вносит ударная волна при передаче импульса пузырьковой среде от детонационной волны?

Докладчик подробно ответил на все заданные вопросы.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

**Личное участие соискателя.** В диссертации представлены результаты исследований, выполненных самим автором или при его непосредственном участии. Личный вклад автора состоит в формулировке научной проблемы, разработке экспериментальных методов ее решения, в анализе и обобщении полученных результатов и формулировке выводов. Лично автором были разработаны стенды и экспериментальные образцы импульсно-детонационных гидрореактивных двигателей и моделей «активных» газовых каверн.

**Степень достоверности результатов** подтверждается использованием апробированных измерительных методик, непротиворечивостью получаемых результатов и их удовлетворительным согласием с результатами численных расчетов для моделей разных пространственных масштабов, а также повторяемостью результатов при неизменных условиях экспериментов.

**Научная новизна.** Ниже перечислены новые научные результаты, полученные в работе:

1. С помощью теоретических и экспериментальных исследований распространения ударных волн в инертной (воздух) и активной (ацетиленокислородная смесь) пузырьковой среде впервые показано, что с увеличением объемного газосодержания импульс, передаваемый пузырьковой среде от бегущей ударной волны, монотонно возрастает, достигая постоянного значения при объемном газосодержании 20%–25%, а замена пузырьков с инертным газом на пузырьки активного газа позволяет форсировать тягу ИДГРД.

2. На основе экспериментальных исследований инновационных образцов ИДГРД бесклапанных схем и схем с механическим клапаном впервые показано, что гидрореактивную тягу, обеспечивающую движение водного транспортного средства, можно создавать, используя новый физический принцип: периодическое воздействие детонационными волнами на газосодержащую водную среду в прямоточном водоводе ИДГРД, причем средний удельный импульс, достигая значения 1000–1200 с (по топливной смеси) при низкой частоте, убывает с частотой, а средняя тяга ИДГРД возрастает с частотой до определенного предела, связанного со степенью заполнения водовода заборной водой.

3. На основе экспериментальных исследований межциклового неидентичности при работе ИДГРД, заключающейся в сильном отличии первого рабочего цикла от последующих циклов и подразумевающей существование физико-химических явлений, снижающих эффективность передачи импульса от газового взрыва к пузырьковой жидкости и, следовательно, тяговые характеристики ИДГРД, впервые показано, что



межцикловая неидентичность связана с проникновением воды в детонационную трубу и нарушением условий формирования и распространения детонационной волны, а также взаимодействия образованной ударной волны с пузырьковой средой в водоводе ИДГРД. Перерасширение продуктов детонации вследствие инерции водяного столба и их охлаждение приводит к формированию обратного потока механической водно-газовой смеси, который не только заполняет водовод, но и проникает в детонационную трубу, оказывая сильное влияние на циклический рабочий процесс.

4. Испытаниями опытного образца ИДГРД (с устраненной проблемой межцикловой неидентичности) в составе маломерного судна на открытой воде впервые доказано, что ИДГРД развивает тягу как при нулевой скорости судна, так и при движении.

5. Сравнением расчетов с экспериментами на моделях разных пространственных масштабов доказано, что имеющаяся физико-математическая модель горения топливно-воздушной смеси в полуограниченных объемах со свободной границей в виде поверхности воды, может быть использована для проектирования крупномасштабных катеров и судов с активной днищевой каверной.

6. В экспериментах на открытой воде с крупномасштабной буксируемой моделью судна с активной днищевой каверной объемом 20 л с пульсирующим горением водородно-воздушной смеси впервые подтверждена возможность создания положительных толкающей и подъемной сил, действующих на лодку в движении, что дает веские основания считать возможным создание судов и лодок, движение которых обеспечивается исключительно за счет сгорания/детонации топливовоздушной смеси в активных кавернах под их днищем, что позволит избежать использования традиционных гребных винтов.

**Практическая значимость.** В диссертации представлены новые научные основы для разработки и проектирования движителей с прямым преобразованием химической энергии топлива в кинетическую энергию движения воды для скоростного водного транспорта. Результаты работы стали основой научно-технической кооперации с ЦМКБ «Алмаз» и ЦКБ им. Алексеева.

**Ценность научных работ** соискателя подтверждена в ходе их представления и обсуждения на Всероссийских и Международных конференциях: конференциях отдела горения и взрыва ФИЦ ХФ РАН (г. Москва, Россия 2017, 2019, 2020); научных сессиях НИЯУ МИФИ (г. Москва, Россия 2019, 2020); XI Международном коллоквиуме по импульсной и непрерывной детонации ICPCD (г. Санкт-Петербург, Россия 2018); X Международном коллоквиуме по детонации для двигательных установок IWDP (г. Санкт-Петербург, Россия 2019); IX Международном симпозиуме по Неравновесным процессам, плазме, горению и атмосферным явлениям (г. Сочи, Россия 2020); Минских международных коллоквиумах по физике ударных волн, горения и детонации (г. Минск, Беларусь 2017, 2019); научных молодежных школах-конференциях ФИЦ ХФ РАН «Химия, физика, биология: пути интеграции» (г. Москва, Россия 2015, 2016, 2017).

Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

По материалам диссертации опубликовано 10 работ, из них 5 работ опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Материалы диссертации полностью изложены в опубликованных работах.

Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, и «Изменений, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации № 335 от 21 апреля 2016 года, и является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований определены и обоснованы новые принципы преобразования химической энергии топлива в кинетическую энергию движения жидкости. Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 — химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Заключение принято на заседании отдела горения и взрыва ФИЦ ХФ РАН. Присутствовало 21 чел. Результаты голосования:

«За» — 21,

«Против» — нет,

«Воздержалось» — нет.

Председатель семинара  
заведующий лабораторией горения ФИЦ ХФ РАН  
д.ф.-м.н.



В.Г. Крупкин

Секретарь семинара  
старший научный сотрудник  
лаборатории детонации ФИЦ ХФ РАН  
к.ф.-м.н.



В.А. Сметанюк