

**НАУЧНЫЕ СБОРЫ**

# Взрыв в физическом эксперименте

16—20 сентября в Новосибирске в Малом зале Дома учёных СО РАН прошла всероссийская конференция «Взрыв в физическом эксперименте», организованная Институтом гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. На конференции была продолжена традиция широкого обсуждения использования энергии взрыва при решении научных и прикладных задач.

В конференции с оригинальными сообщениями выступили более 100 учёных из 60 научно-исследовательских и учебных организаций 20 городов России: Москвы, Санкт-Петербурга, Волгограда, Черноголовки, Сарова, Снежинска, Новосибирска, Томска, Красноярска, Владивостока и других. Программа конференции включала 11 приглашённых лекций, 68 устных сообщений, остальные — стендовые доклады (каждому «стендовику» была предоставлена возможность устного 5-ти минутного выступления для представления работы). К началу мероприятия были изданы расширенные тезисы докладов (объём 237 страниц). Сведения о спонсорах, организационном и программном комитете, приглашённых лекторах, материалах конференции и отчет в фототрафиях приведены на сайте <http://conf.nsc.ru/explosion/ru>.

Названия секций соответствуют тематике конференции: «Газовая детонация и дефлаграция», «Конденсированные взрывчатые вещества», «Физические исследования ударно-волновых процессов», «Методы исследования быстропотекающих процессов», «Кумулятивные явления и детонационный синтез», «Ударные волны в конденсированных средах», «Прикладные исследования», молодёжная секция. Были рассмотрены вопросы, связанные с управлением газовой детонацией, численным моделированием динамических процессов в сплошных средах, динамическим синтезом ультра- и нанодисперсных материалов, ударно-волновыми и детонационными явлениями, методами исследования быстропотекающих процессов и прикладными проблемами механики взрыва.

Особенность конференции — широкое участие в ней молодых исследователей: один рабочий день мероприятия был отдан под доклады учёных возрастом до 35 лет включительно. Ими было представлено 21 устное и 9 стендовых сообщений, почти 30 % общего числа докладов. Отрядный факт: 2/3 устных докладов — сообщения экспериментального характера, несмотря на повсеместное увлечение молодёжи компьютерным моделированием.

На конференции работало научное жюри, которое выделило двух победителей среди молодых в номинациях «Численное моделирование динамических процессов» и «Экспериментальные исследования». В сообщении О.Г. Сутырина и др. (НИИ механики МГУ, Москва) «Взаимодействие ударных волн с локальными неоднородностями в газе» при помощи метода численного моделирования обнаружено явление кумуляции — локальное повышение плотности, давления и температуры — при взаимодействии плоской ударной волны с выпянутыми и плоскими эллиптическими газовыми «пузырями», объясняющее, возможно, воспламенение энергетических газовых смесей слабыми ударными волнами. В докладе В.В. Якушева и др. (ИПХФ РАН, Черноголовка) «Образование кубического нитрида кремния из фазы низкого давления при высокотемпературном ударном сжатии» при помощи метода высокотемпературного ударного сжатия в ампулах сохранения удалось реализовать практически полное превращение (до 96 %) продукта в кубическую фазу высокого давления потенциально сверхтвёрдого материала. Победители были отмечены дипломами и призами.

Ведущими учёными страны, членами РАН (академики В.М. Титов, Г.В. Сакович, В.А. Левин, В.М. Фомин, члены-корреспонденты РАН Г.И. Канель и В.И. Лысак) и докторами наук, были прочитаны 11 пленарных лекций с целью ознакомления молодых исследователей с историей, например, открытия взрывного синтеза нанодисперсного алмаза (академик В.М. Титов, ИГиЛ СО РАН, Новосибирск) или с проблемой исчезновения классического химического пика во фронте детонационной волны (А.В. Уткин, ИПХФ РАН, Черноголовка), а также с целью

привлечения внимания к проблемам в области физики и механики высоких плотностей энергии, актуальным и в XXI веке. Следует отметить эмоциональное выступление В.Ф. Куропатенко (РФЯЦ — ВНИИ технической физики, Снежинск), одного из основоположников отечественных уравнений состояния вещества при давлениях в десятки — сотни тысяч атмосфер и более «Эксперимент и математическое моделирование в механике». Лейтмотив лекции — пора заканчивать бесконечную подгонку параметров моделей численного моделирования под экспериментальные данные, так как подобные «модельные» подходы, по сути дела, не объясняют ничего и не позволяют достоверно прогнозировать поведение материалов в тех областях параметров, где результаты отсутствуют. Необходимо развивать аналитические физически оправданные модели, основанные на «первых принципах», так, как это делалось в 40—50-е годы прошлого века до появления ЭВМ, когда зарождалась и развивалась наука о влиянии динамических сверхвысоких давлений на поведение и свойства веществ, а разработка атомного оружия стимулировала интенсивный прогресс этой области знания.

В лекции А.В. Герасимова (НИИПММ ТГУ, Томск) приведены результаты включения в численные коды статистической неопределённости значений физико-механических характеристик материалов. Данный подход позволяет значительно лучше описывать численными методами вероятностный характер разрушения и фрагментации материалов, наблюдаемый в эксперименте.

Большой интерес вызвала лекция А.Л. Михайлова (РФЯЦ — ВНИИЭФ, Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва, Саров), в которой подведены итоги разработки и продемонстрированы возможности нового для российских исследователей микроволнового (длины волн 2—8 мм) метода исследования детонационных и ударно-волновых процессов. В лекции чл.-корр. РАН Г.И. Канеля (ОИВТ РАН, Москва) дан исчерпывающий обзор результатов по влиянию скорости деформирования в диапазоне  $10^4$ — $10^{11}$  1/с на реологические свойства материалов и выделена определяющая роль скорости деформирования. Перспективы развития и проблемы, стоящие перед разработчиками и производителями современных мощных взрывчатых веществ, сформулированы в лекции С.В. Сысолятина (ИПХЭТ СО РАН, Бийск).

Невозможно охарактеризовать все оригинальные сообщения, выделим наиболее заметные, с точки зрения авторов данной заметки. В сообщениях С.А. Ждана и Ф.А. Быковского (ИГиЛ СО РАН, Новосибирск) обсуждаются результаты изучения непрерывной спиновой детонации (НСД) в смеси синтез-газ — воздух. Основные результаты: параметры НСД для исследуемой смеси близки к определенным ранее для водородо-воздушных смесей; для организации НСД топливно-воздушных смесей при использовании в качестве горючего пропана, метана, керосина размер необходимой камеры-инициатора достаточно большой — не менее 300 мм. Реализация НСД представляет значительный практический интерес как новый способ сжигания углеводородного горючего, и для участников конференции было организовано посещение стенда по изучению непрерывной («бегающей по кругу») детонации с демонстрацией сжигания смеси синтез-газ — воздух (длительность реализованного процесса около 1 сек при скорости детонации смеси 1,3—1,5 км/с).

В докладе А.Ю. Долгобородова и др. (ИХФ РАН, Москва) реализованы детонационно-подобные режимы горения твердофазных энергетических материалов с повышенной скоростью выделения энергии (наноразмерные смеси окислитель-горючее). Показано, что для многих композиций решающим фактором для реализации «взрывного горения» является механохимическая

обработка смесей в шаровых мельницах, после которой скорость распространения процесса для смеси алюминий/перхлорат аммония достигает 1,5—2,5 км/с.

В работе Д.Н. Николаева и др. (ИПХФ РАН, Москва) приведены оригинальные схемы взрывных генераторов мощных ударных волн, основанные на режиме двойного маховского отражения. При лабораторном масштабе генератора достигнуты очень высокие параметры: до 1,3 миллиона атмосфер в плексиглазе и до 5-ти млн атм. в сапфире, что превышает возможность взрывного плоского метания с градиентной кумуляцией и легкогазовых пушек (при относительной простоте конструкций и значительном диаметре плоской части течения).

В докладе В.П. Исакова и др. (СФУ, КНЦ СО РАН, Красноярск) приведены результаты модифицирования поверхности детонационных наноалмазов, очищенных химическим сжиганием «неалмазной» фракции, наночастицами металлов платиновой группы с целью разработки эффективных катализаторов для переработки жидких углеводородов. Зарегистрировано (без объяснения) появление фуллереноподобной фазы углерода в продуктах горения смеси палладий — детонационный наноалмаз.

В работе С.М. Караханова и др. (ИГиЛ СО РАН, Новосибирск), по-видимому, впервые сделана попытка экспериментального исследования при помощи оптического пирометра в гомогенной инертной среде процесса формирования «горячих точек», моделируемых моноосложном полем микроскопа. Определены характерные времена разогрева/охлаждения «горячей точки». Показано, что температура «горячей точки» достигает 3200—3500 градусов К и в 2,5—3 раза превышает температуру матрицы из эпоксиной смолы при ударном давлении 20—29 ГПа.

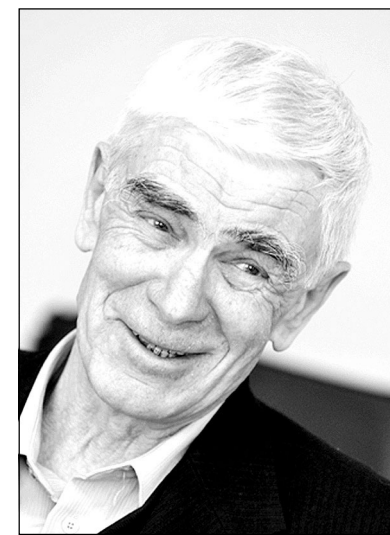
В докладе С.П. Киселёва (ИТПМ СО РАН, Новосибирск) продолжено развитие приложения метода молекулярной динамики к описанию волнообразования при сварке взрывом. Согласно авторской интерпретации расчетных результатов расщепления колебаний обусловлена смещением точек растекания струй в области высокого давления за счёт возмущений, попадающих в эту область.

В сообщении А.П. Пеева и др. (ВолГТУ, Волгоград) говорится о влиянии ультразвука на параметры волн, образующихся при соударении пластин в режиме сварки взрывом. Если направление распространения ультразвука совпадает с направлением детонации, то амплитуда волн значительно уменьшается. Авторы не дают объяснения этому эффекту, но его наблюдение и дальнейшее исследование представляют значительный интерес.

В программе конференции была предусмотрена секция, связанная с представлением приложений, в которых используется энергия управляемого взрыва. В пленарном докладе чл.-корр. РАН В.И. Лысака (ВолГТУ, Волгоград) ретроспективно представлены результаты применения энергии взрыва для создания композиционных материалов. Приведены примеры успешного использования сварки взрывом при создании двух- и многослойных металлических материалов для космической, нефтяной и химической промышленности, новых материалов с металлическими и интерметаллическими покрытиями, материалов двойного назначения.

Вопросам промышленного производства крупногабаритного (площадью более 25 кв. м) биметалла сваркой взрывом — сталь/титан, сталь/нержавеющая сталь — посвящён доклад Л.Б. Первухина (ИСМАН, Черноголовка). Производимый биметалл соответствует российским стандартам и зарубежным техническим аналогам. В созданной компании ООО «Битруб Интернэшнл» совершенствуются и разрабатываются технологии сварки взрывом и производятся тысячи тонн биметалла для нужд отечественной промышленности.

Результаты разработки научных основ



19 сентября перед началом заседания руководства Президиума СО РАН, академики А.Л. Асеев, В.М. Фомин и коллеги тепло поздравили академика В.М. Титова с юбилеем.

конструирования и изготовления металлических взрывных камер для физических экспериментов и реализации промышленных технологий приведены в сообщении А.А. Штерцера (ИГиЛ СО РАН, Новосибирск). Эти работы выполняются в конструкторско-технологическом филиале Института гидродинамики. География поставки и эксплуатации взрывных камер, соответствующих европейским стандартам, очень широка — это страны Европы, Южная Корея и Сингапур, Индия и Египет.

Большой интерес вызвало сообщение В.Ю. Ульяницкого (ИГиЛ СО РАН, Новосибирск), связанное с разработкой нового поколения оборудования для детонационного напыления, которое удалось довести до уровня внедрения и совместимости с промышленными роботами. С данной разработкой участники конференции были ознакомлены во время экскурсии, в течение которой продемонстрировано уже традиционное нанесение защитных покрытий из твердосплавного порошка на элементы газотурбинных двигателей и детали нефтегазового оборудования.

Значительное внимание было проявлено к выступлению В.И. Мали (ИГиЛ СО РАН, Новосибирск), связанному с использованием электроимпульсного спекания порошковых материалов под давлением, позволяющего сохранить исходную наноструктуру прекурсора. В рамках экскурсии участники конференции были ознакомлены с установкой и изготавливаемыми материалами: металлические покрытия на керамиках, высокоплотный титан (фильтры), высокоплотные карбиды титана, вольфрама, бора, интерметаллические соединения и композиционные материалы на их основе, востребованные промышленностью.

Были организованы экскурсии и по двум другим стендам ИГиЛ СО РАН: стенд для постановки взрывных опытов с применением синхротронного излучения, размещенный в ИЯФ СО РАН, и знакомство с большой герметизированной взрывной камерой с сопутствующим оборудованием. По отзывам гостей, знакомство с экспериментальными возможностями института вызвало неподдельный интерес.

Впервые на конференции по «взрывной» тематике присутствовали дилеры зарубежного инструментария для исследования быстропотекающих процессов: ООО «БЛМ Синерджи» (Москва) — оборудование для регистрации параметров внутренней и внешней баллистики; ООО «Камера-АйКью» (Москва) — разнообразные цифровые видеокамеры с частотой съемки от 5000 до 130,000 кадров/сек; компания OZM Research (Чешская Республика) — оборудование для изучения процессов горения, детонации и тестирования взрывчатых материалов.

При обсуждении итогов конференции была отмечена целесообразность проведения подобных российских конференций, способствующих развитию и укреплению научно-технических связей между учеными центральной части России, Урала и сибирскими исследователями, обмену плодотворными идеями, поддержке высокого уровня научных разработок и подготовке молодых специалистов.

А.А. Васильев, В.В. Сильвестров, И.В. Яковлев.  
Фото В. Новикова