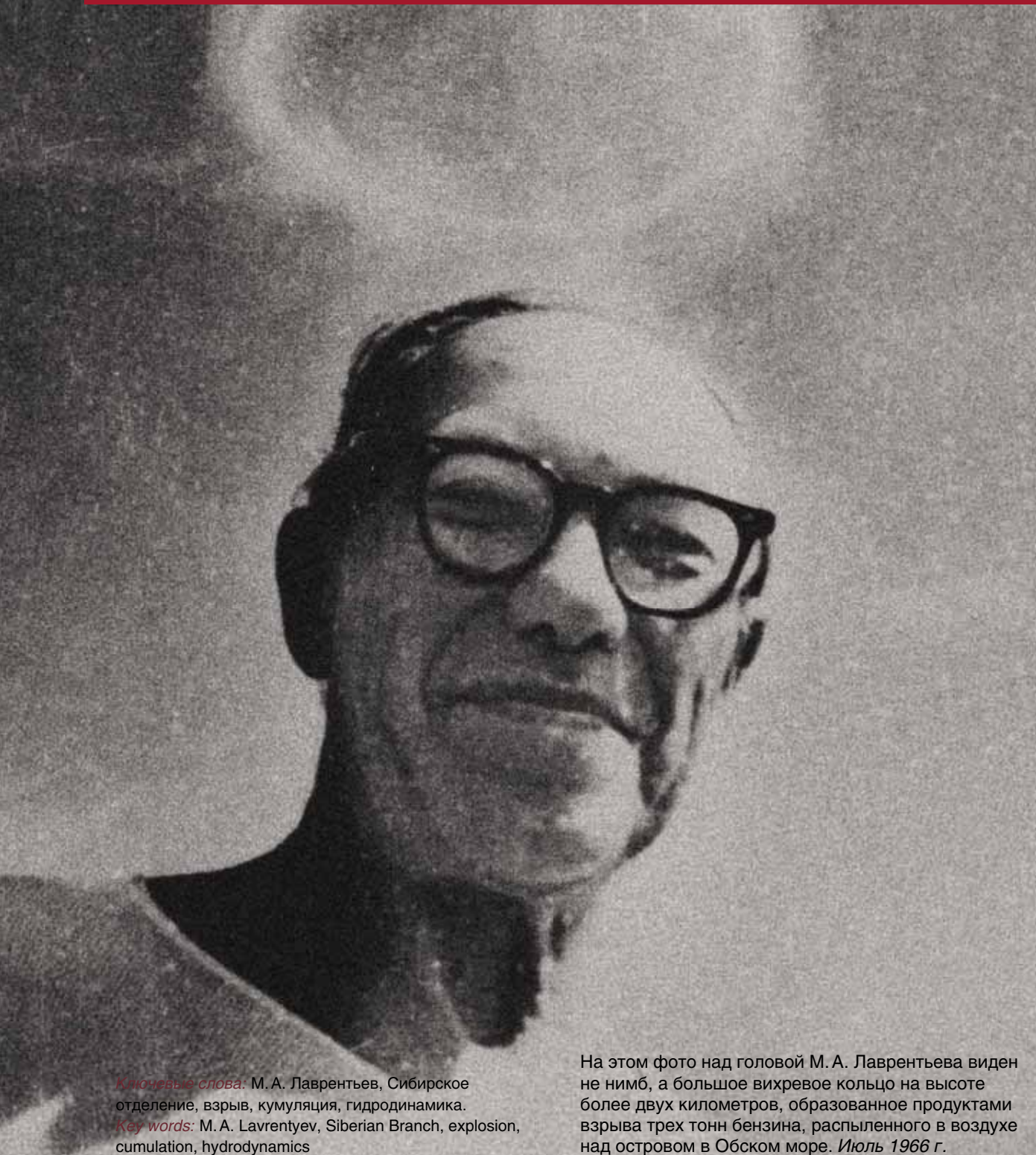


К 115-летию академика М.А. Лаврентьева

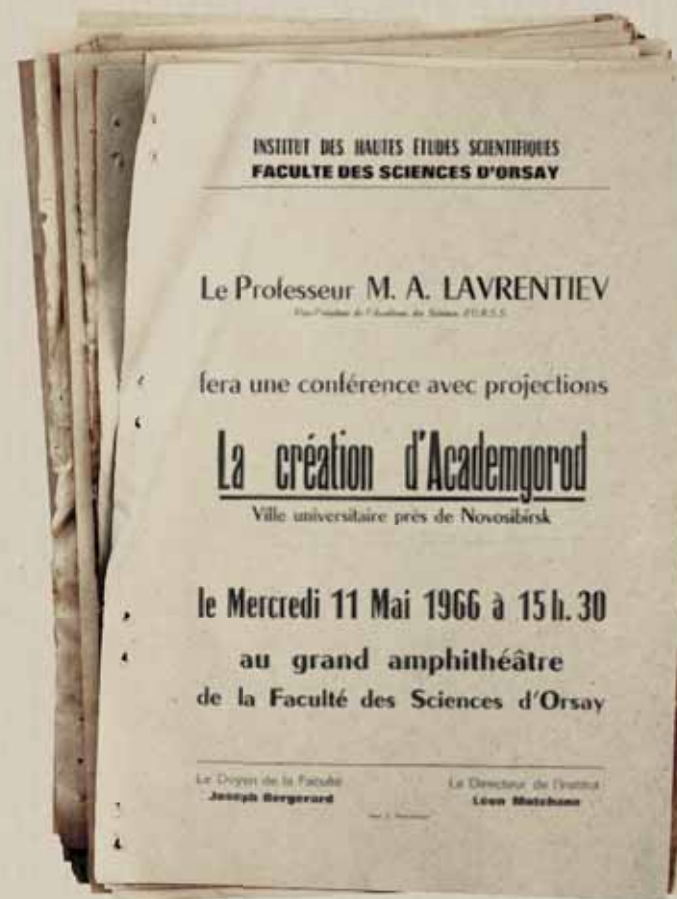
Укрощенный Взрыв



Ключевые слова: М. А. Лаврентьев, Сибирское отделение, взрыв, кумуляция, гидродинамика.

Key words: M. A. Lavrentyev, Siberian Branch, explosion, cumulation, hydrodynamics

На этом фото над головой М. А. Лаврентьева виден не нимб, а большое вихревое кольцо на высоте более двух километров, образованное продуктами взрыва трех тонн бензина, распыленного в воздухе над островом в Обском море. *Июль 1966 г.*



Объявление о лекции академика М. А. Лаврентьева, сохраненное и любезно переданное французскими друзьями команде КВН НГУ, посетившей Францию в октябре 1989 г. Музей НГУ

Имя академика М. А. Лаврентьева навечно вписано в летопись российской науки, в историю Сибирского отделения АН. На очередной конференции «Лаврентьевские чтения по физике, механике и математике», которые каждые пять лет проводит Институт гидродинамики СО РАН – первенец Новосибирского научного центра, одной из основных тематик являлась теория и практика взрыва, которой сам ученый уделял большое внимание. С именем Лаврентьева связаны гидродинамическая теория кумуляции с «парадоксальной» гипотезой, что металл при больших импульсных нагрузках ведет себя как жидкость; исследования по направленному взрыву, связанные с проблемой дробления и перемещения в заданном направлении монолитных материалов, а также малоизвестные работы по созданию артиллерийского ядерного снаряда. В преддверии 115-й годовщины со дня рождения академика Лаврентьева журнал «НАУКА из первых рук» представляет публикацию о физике взрыва – многообразной и многоплановой тематике, долгие годы успешно развивающейся в Институте гидродинамики и остающейся востребованной в наши дни



ВАСИЛЬЕВ Анатолий Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ, заведующий лабораторией газовой детонации Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск). Директор института 2010—2015 гг. Автор и соавтор 250 научных работ и 9 патентов

В научной литературе под взрывом понимают явление быстрого преобразования взрывчатого вещества из исходного состояния в газообразное, сопровождающееся мощным динамическим и тепловым воздействием на окружающие тела. Благодаря же современным СМИ слово «взрыв» сегодня в первую очередь ассоциируется с тяжелыми разрушениями, а термин «тротиловый эквивалент» знают даже дошкольники.

Да, неконтролируемые взрывы на производстве и в быту представляют опасность не только из-за разрушений материальных объектов, но и возможной гибели людей. В многомиллионной истории человечества немалую угрозу всему живому представляли лесные и степные пожары, вызванные молниями, тем не менее человеку всегда хотелось обуздать силы природы и обратить их во благо. Тот же укрощенный огонь оказался замечательным помощником, и до сих пор большая часть тепловой и электрической энергии вырабатывается при контролируемом сжигании разных видов углеводородного топлива. Столь же привычны стали нам и укрощенные взрывы: жизнь современного человека невозможно представить без миллионов маленьких взрывов, ежесекундно происходящих в двигателях внутреннего сгорания различного назначения, в том числе такого «взрывного» устройства, как автомобиль.

Однако человечество обязано взрыву не только своим современным комфортом, но и самим фактом своего существования. В поисках ответа на вечный вопрос – как возникла Вселенная? – ученые также не смогли обойтись без представления о взрыве. Согласно одной из теорий, которая так и называется – теория Большого взрыва, наша Вселенная возникла примерно 13,77 млрд лет назад. После «рождения во взрыве» она представляла собой высокооднородную и изотропную среду с необычайно высоким давлением, плотностью (около 10^{93} г/см³) и температурой (примерно 10^{32} К), и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается. (Для сравнения: максимальная плотность вещества в земных условиях составляет всего 23 г/см³ (у иридия), а температура поверхности Солнца – $6 \cdot 10^3$ К.)

Какие же уникальные измерительные приборы должны быть в распоряжении исследователей взрывных процессов, чтобы охватить весь этот фантастически широкий диапазон параметров – от сверхплотных твердых веществ до высокотемпературных газов! Исследования физики взрыва невозможно обеспечить силами специалистов одного узкого направления, здесь требуется комплексный подход. Это понимали М. А. Лаврентьев и его соратники, когда создавали Сибирское отделение. На основе принципа многоплановости и междисциплинарности исследований был создан и работает в наши дни и Институт гидродинамики, который сегодня носит

имя М. А. Лаврентьева, существенный вклад в копилку достижений которого вносили и вносят исследователи взрывных процессов.

На смену задачам, поставленным отцами-основателями, приходят новые – жизнь продолжается. Устремляя взор в будущее, хотелось бы еще раз отдать должное старшему поколению, создавшему более полувека назад Сибирское отделение. Заложенные ими принципы (наука – кадры – внедрение) никогда не забывались последующими поколениями сибирских исследователей и оказались как нельзя востребованными в настоящее время. Нынешнему и будущим поколениям полезно знать свою историю, особенно историю науки, и гордиться ее достижениями. О краткой истории взрывной тематики и хотелось бы напомнить в этой статье в связи со 115-й годовщиной Михаила Алексеевича Лаврентьева, одного из ярких представителей этого направления.

Мирные взрывы

Устойчивый интерес к задачам, связанным со взрывом, сформировался у Лаврентьева еще в годы войны, во время работы над новыми видами вооружений. В мирное же время он начал углубленно изучать взрывные процессы и возможности их применения в народном хозяйстве.

Из воспоминаний академика РАН Б. Е. Патона:

«По возвращении в 1945 г. в Киев М. А. Лаврентьев продолжает руководить Институтом математики АН УССР, исследованиями в области взрыва. В созданной им экспериментальной лаборатории исследовались качества взрывчатых веществ и их применение, в частности, для определения прочности сварных конструкций большой толщины. Проводились также опыты по штамповке взрывом металлических изделий. А использовались для этой цели отходы пироксилиновых порохов ... как результат, в 1940–1950-х гг. на Украине при непосредственном участии М. А. Лаврентьева развернулись работы с применением взрыва в мирных целях: для прокладки каналов, тоннелей, дорог, в строительстве и сельском хозяйстве».

Взрыв продолжал интересовать Лаврентьева и позже, когда он стал работать в Москве и преподавать в МФТИ. Его ученик, бывший сотрудник ВНИИЭФ («Арзамас-16») и лауреат Ленинской премии М. В. Синицын вспоминает: «... после окончания в 1951 г. IV курса в качестве преддипломной практики М. А. организовал для нас командировку в Киев. Там, в Институте математики АН УССР, существовала под его патронажем лаборатория взрывных процессов. Точное название ее уже забылось, а руководил ею крупный специалист взрывного дела Н. М. Сытый. Лаборатория рас-



полагалась в пригородном поселке Феофания... В поселке кроме постоянного населения располагались 2–3 лаборатории академических институтов и несколько дач академиков. И в этом тихом райском уголке проводились эксперименты как раз на тропинке, по которой местные жители ходили в Киев... Заряд обычно подвешивался между деревьями, мы расходились в разные стороны, и если появлялись прохожие, то мы их останавливали в овражке, откуда заряд не был виден. А после взрыва все направлялись по своим делам: жители – в город, мы – к своим измерительным приборам.

Рабочая неделя у нас складывалась следующим образом: задание нам выдавал М. А. (например, определить поле давлений заряда заданной конфигурации), обсуждались методы измерений и ожидаемый результат. Часто М. А. затем уез-

жал по своим делам в Киев. А мы из «подножного» материала, имевшегося в лаборатории и в окрестности поселка – каких-то баков, обрезков труб, свинцовых мембран, которые прокатывались в лабораторной мастерской, – изготовляли измерители давления и импульса.

М. А. Лаврентьев – вице-президент АН УССР. 1948 г.

Фотоархив СО РАН

Внизу: проводятся исследования пробивания танковой брони. 1944 г. *Фотоархив СО РАН*



Прессовали необходимой формы и размера заряды из взрывчатого вещества и проводили эксперименты. Далее следовала обработка результатов и подготовка доклада для МА, который приезжал в назначенное время.

Такой метод работы показал нам, что, используя смекалку и находчивость, можно получать пригодные для практической цели результаты с помощью даже самых примитивных средств».



Заслон против селя

Взрывное направление в работах М. А. Лаврентьева получило новый импульс в 1957 г., когда было создано Сибирское отделение АН СССР. Уже в первые месяцы своей сибирской жизни М. А. заложил базу для дальнейших, исключительно успешных работ по этой тематике.

В первую очередь речь идет о так называемом направленном взрыве. Как известно, при взрывных работах важно, чтобы грунт переместился в нужном направлении. У Лаврентьева появилась идея, как надо расположить взрывчатку, чтобы добиться такого результата. Осуществить эту идею на практике было поручено двум ученикам Лаврентьева – В. М. Кузнецову и Е. Н. Шеру, а правильность полученного решения была подтверждена в экспериментах, проведенных в 1960 г. на берегу Обского водохранилища.

Из воспоминаний сотрудника Института теплофизики СО РАН Б. Г. Новикова:

«Однажды, ближе к осени, проходя мимо домика Лаврентьева, я увидел Михаила Алексеича, копившегося у одного из многих пней у торцевой стены его жилища. Пни были высокие и толстые. Видимо, площадку под домик готовили зимой, и деревья пилили выше уровня снежного покрова. Лаврентьев встал, отошел к стене. Послышался тихий хлопок. Пень приподнялся и медленно завалился точно в сторону от домика. Ситуация повторилась с еще несколькими пнями. Я понял, что хлопки – это не что иное, как небольшие взрывы... И вот в 1960 г. Михаил Алексеич на своем очень скромно отмечавшемся юбилее сделал блистательный научный доклад, где кратко, но с предельной ясностью изложил ряд идей и результатов, как своих, так и ближайших своих учеников... Среди них была и идея направленного взрыва, обеспечивающего движение заданной массы среды в заданном направлении без изменения в процессе движения своей формы. Только тогда я понял, что осенью 1958 г. у своего домика Михаил Алексеич проверял и отработывал идею направленного взрыва».

Несколько позже под руководством Михаила Алексеича направленным взрывом под Алма-Атой была создана грандиозная антиселевая плотина.

Вот как сам Лаврентьев вспоминал о строительстве этого грандиозного защитного сооружения в Медео:

«По моей инициативе в системе Академии наук СССР в 1959 г. был создан Научный совет по народно-хозяйственному использованию взрыва, где я стал председателем, а академик М. А. Садовский – моим заместителем. После организации Совета мы получили дополнительные возможности помогать реализации научных методов в технике и народном хозяйстве.

У нас установилась хорошая связь с Союзвзрывпромом и его главным инженером М. М. Докучаевым.

Как раз в это время велось проектирование создания методом взрыва противоселевой плотины на реке Малая Алмаатинка, в районе Медео, в 15 км от Алма-Аты. Довольно редко, один раз в 20–30 лет, при определенных климатических условиях в горах при таянии снегов образуются озера. В какой-то момент снежная плотина не выдерживает и рушится, а огромная масса воды (до миллиона кубометров), несущая каменные глыбы, устремляется вниз по долине речки. Мощный водокаменного потока такова, что он может уничтожить половину Алма-Аты (за 100 лет город страдал от селей 3 раза). В 1962–1963 гг. показания гидрометеослужбы и сейсмических станций стали тревожными – ожидалась крупная селе. Взрыв был единственным методом быстро создать плотину на пути селя и защитить город.

М. М. Докучаев предложил создать плотину двукратным взрывом, группа молодежи (М. А. Садовского и моя) провела расчеты, проект был представлен в Совмин Казахстана. Совмин и ЦК партии республики поддерживали проект, но ряд академиков Казахской Академии наук и ученые разных специальностей выступили в печати с резкими возражениями. Говорили и писали о том, что предполагаемый взрыв 10 тыс. т взрывчатки сам по себе опаснее селя.

Экспертиза была поручена Совету по взрыву. Собирались несколько раз в Академгородке и Москве, между заседаниями проводили подсчеты разных вариантов расположения ВВ и возможных сейсмических, фугасных, дымовых (то, чего больше всего боялись противники взрыва) последствий...

На решение взрывать сильно повлиял сель, произошедший в районе озера Иссык в 70 км от Алма-Аты... 7 июля 1963 г. на Иссык приехал один из руководителей республики с гостями. У причала их ожидал катер для поездки на другую сторону озера, чтобы показать построенные там дома отдыха. Катер был наготове, но его водитель куда-то отлучился. Пока его ждали, со стороны гор раздались гул и грохот – это шел сель. Стало ясно, что гостей нужно немедленно увозить. Через несколько минут после их отъезда в озеро вошел грязекаменный селевой поток. Озеро переполнилось, в естественной каменной плотине, подпиравшей его, образовалась промоина, и новый селевой поток, вместе с водой из озера, хлынул вниз по ущелью. Находящийся в конце ущелья районный центр Иссык сильно пострадал, но жертв там почти не было – жители были предупреждены о надвигающейся опасности.

Вскоре нас снова вызвал Д. А. Кунаев и запросил дополнительные данные о безопасности взрыва с тем, чтобы принять окончательное решение. Для проверки в районе, близком к будущей плотине, был произведен



Последовательные стадии развития правобережного взрыва, снятые со стороны нижнего бьефа плотины (от катка Медео).

Слева: вид ущелья до взрыва и через восемь секунд после взрыва.

Вверху: облако раскаленных газов и пыли через 30 с после взрыва и вид ущелья через 2 мин. после взрыва.

Фотографии получены экспедицией Института физики земли Академии наук СССР

модельный взрыв. В спешке мы забыли обеспечить себе укрытие и во время взрыва попали под каменный дождь из камешков от 10 до 100 г – все старались голову вобрать в плечи и защитить ее руками...

Взрыв был произведен осенью 1966 г. Мы стояли на горе и видели все – от огня до раздробленной каменной массы, отделившейся от склона и завалившей ущелье...

Через семь лет после сооружения плотины... по алма-тинскому ущелью прошел сель, по мощности больший, чем все прежние (он нес валуны весом до 120 т). Все селевые ловушки, построенные выше плотины, были сметены. Селехранилище, образованное плотинной и рассчитанное на 100 лет, заполнилось почти на три четверти. Водотводные трубы были забиты, уровень озера неуклонно поднимался, началось просачивание воды через плотину.

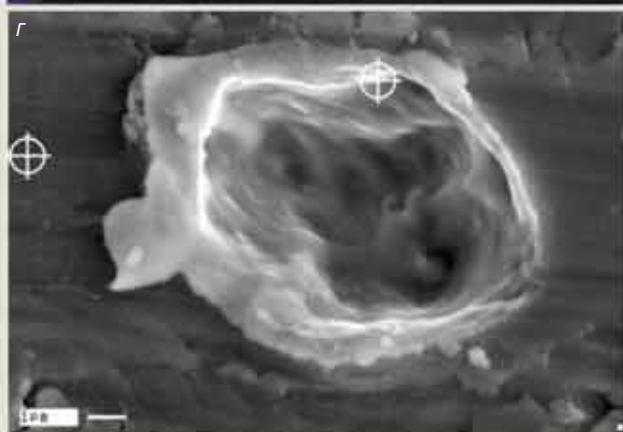
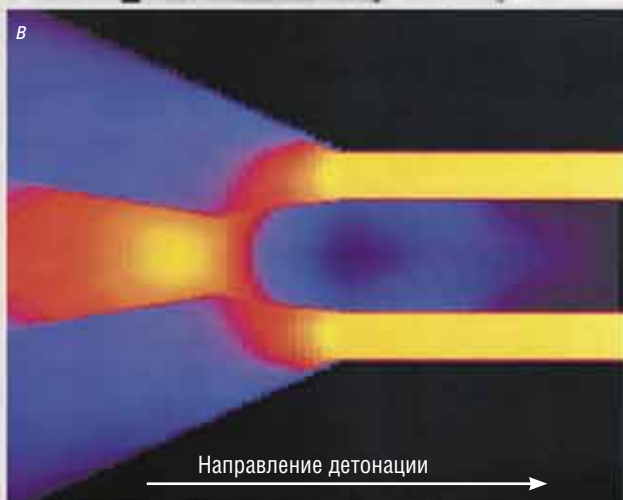
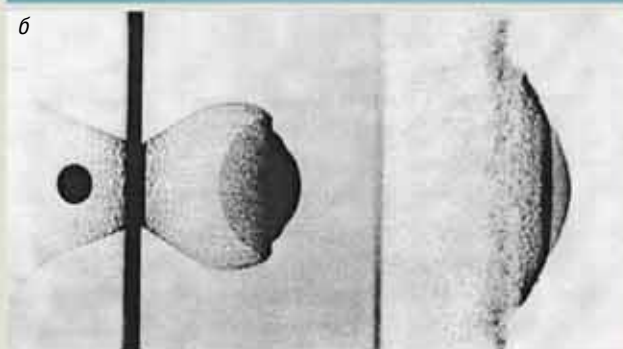
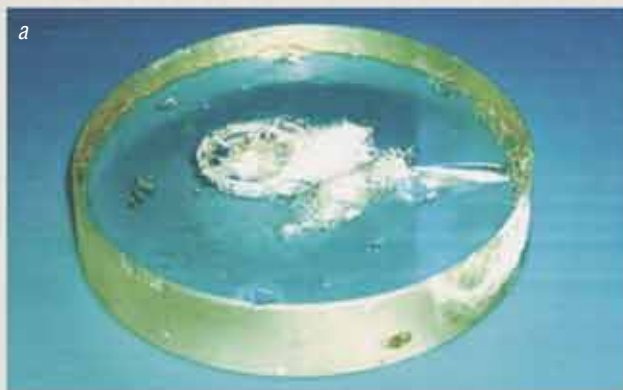
Из Москвы была срочно вызвана комиссия: от науки были М. А. Садовский и я... На плотине собрались во главе с Д. А. Кунаевым руководители республики, представители промышленности, строители плотины, военные и ученые. Главный вопрос: выдержит ли плотина напор миллионов кубов? Хотя почти все были уверены, что выдержит и что просачивание тоже не страшно (обыкновенная фильтрация через каменную наброску), были предприняты меры по спуску воды из озера через трубы... Через два дня можно было спокойно ехать домой».

Хорошая противометеоритная защита – один из залогов безопасности космических объектов и полетов. Решать эту задачу начали после непосредственного обращения С. П. Королева к М. А. Лаврентьеву.

На фото:

а – образец стекла для иллюминаторов космического корабля, поврежденный в ходе экспериментов с летящими шарикообразными микрочастицами; б – экспериментальная съемка микрочастицы, пробивающей преграду (1960-е гг.); в – модели метеорита или «космического мусора» – частицы из металла или стекла размером от 0,1 до 5 мм ускоряются высокоскоростным спутным потоком продуктов детонации от 1 до 8–14 км/с;

г – кратер на стальной пластине, экспонированной в открытом космосе на борту МКС «Мир», образованный в результате удара частицы «космического мусора»



Михаил Алексеевич Лаврентьев, 1958 г.

Слева: один из учеников М. А. Лаврентьева Юрий Фадеев, принимавший активное участие в работах, связанных с освоением космоса. Фото из книги «Я – ФИЗТЕХ». М., 1996

Космические задачи

Со взрывом оказались связаны и стратегически важные задачи по освоению космоса. В начале 1960-х гг., с активным развитием космических исследований появилась проблема, связанная со столкновениями космических аппаратов с метеоритами. Ученик Лаврентьева, будущий академик В. М. Титов взялся решить задачу моделирования метеоритного удара в земных условиях. Используя принципы кумулятивных зарядов, удалось научиться разгонять небольшие металлические шарики до космических скоростей. Это позволило не только изучить возможные последствия встречи метеоритов и космических кораблей, но и оценить эффекты падения метеоритов на Землю и на небесные тела.

Историю этих исследований можно найти в воспоминаниях одного из сотрудников Института гидродинамики Ю. И. Фадеева, принимавшего непосредственное участие в работах по созданию методики высокоскоростного метания тел:

«В начале 1958 г. Институт гидродинамики готовился к отъезду в строящийся новосибирский Академгородок... Отношение к новым сибирякам в московских научных кругах было самое теплое, академики не скупи-

лись на постановку интересных задач для молодежного сибирского десанта. Тогда-то впервые в тематике института появилась космическая тема: готовился полет третьего искусственного спутника Земли (ИСЗ-3), и академик С. П. Королев предложил М. А. Лаврентьеву актуальную задачу – создание искусственных метеоритов, т. е. быстролетающих частиц, с помощью которых можно было бы произвести градуировку устанавливаемых на ИСЗ-3 метеоритных датчиков. Скорость частиц должна была быть не ниже первой космической – 7,8 км/с.

До отъезда оставались считанные месяцы, но за это время студент-дипломник Л. А. Лукьянчиков ухитрился получить с помощью кумулятивного взрыва струю газов со скоростью 13–14 км/с. Однако использовать ее для разгона твердых частиц уже не удалось – пришла пора грузиться в эшелон...

С лета 1958-го началось обживание площадки в лесу под Новосибирском. «Задача Королева» то забывалась, то вновь со всей остротой вставала перед институтом – соответственно графику запуска объектов, несущих метеоритные датчики. С каждой новой попыткой возрастало почтительное уважение к трудности задачи; это было как с путешественниками в горах, перед которыми



Нил Армстронг на пикнике с советскими космонавтами Береговым и Феоктистовым. Справа: академик АН СССР Михаил Алексеевич Лаврентьев. Фото из архива СО РАН

с каждым переходом открываются все новые и новые грани преодолеваемого хребта. Но одновременно рос “спортивный азарт” и повышались ставки. Вплоть до чеканного директорского условия: “Один грамм, 20 км/с – Государственная премия”. Во время одного из таких приливов активности, помнится, в конкурсе принял участие физтеховец – молодой отец, только что получивший под пару близнецов очень дефицитную в едва начавшем строительстве городке жилплощадь: пару комнат в сборном финском домике. Дощатые стенки домика изнутри были обшиты картоном и в 50-градусные морозы промерзали насквозь. В дальней комнате молодая мама кормила детей. А в ближней молодой отец (В. Ф. Минин, позднее директор Института прикладной физики в Новосибирске) установил мощную конденсаторную батарею с энергией разряда в несколько граммов тротилового эквивалента. Все картонные стены в этой комнате были утыканы обрывками проволоки, вылетающей из электромагнитного ускорителя со скоростями до 3 км/с.

Задача не поддавалась долго. Приятно вспомнить, что мне удалось внести вклад в ее решение. Мне очень нравился один из вариантов ускорения, испытывавшийся по рекомендации М. А. Лаврентьева. Взрывной газокумулятивный ускоритель покорял воображение удивительной простотой конструкции. Он состоял из единственной детали – трубы из литого ВВ, по форме напоминающей короткий ствол мелкокалиберной пушки. С одного конца этот заряд инициировали детонатором, на другом устанавливали ускоряемое тело – обычно это был стальной шарик от подшипника. По оси детонирующего заряда возникала высокоскоростная газовая струя. “Метеорит” неизменно разрушался, но его осколки летели с довольно приличной скоро-

стью – до 5 км/с. Когда наступило очередное затишье и коллега-исполнитель (В. М. Кузнецов, ныне уже покойный) занялся другими делами, я взялся доводить понравившийся вариант до ума. Действовал путем “большого перебора” – испытывал подряд все возможные комбинации параметров заряда и частицы.

Это была эпоха энтузиастов-трудооголиков. С рабочим временем многие не считались, и за день удавалось сделать до 10–12 опытов. Через несколько месяцев пришел успех. Удалось понять принципиальную вещь: ускоряемые частицы должны быть размером на порядок меньше, чем применявшиеся до тех пор. Слишком большие разрушались при разгоне, слишком маленькие оплавливались и сгорали в газокумулятивном потоке. Оптимальными оказались размеры 0,15–0,25 мм.

Легко сказать – доли миллиметра! А где их взять? Промышленно выпускались лишь шарики диаметром от 1 мм и крупнее, а специальный заказ стоил бы непомерно дорого. Порошки не годились – даже небольшие отклонения от сферической формы приводили к раскрутке в газовой струе и разрушению центробежными силами. Пришлось делать сферические частицы самим, по хорошо известным технологическим принципам: “на столе” или “на колене”. Исходное сырье – металлические проволоки, с помощью электрического взрыва в воде превращались в крошево из частиц разнообразных форм и размеров. На ситах отсеивалась нужная фракция. А затем шарики отделялись от хлама методом гонок на листе лощеной бумаги – чем правильнее форма частицы, тем резвее она катится при наклоне... Вскоре штатив был заполнен пробирками с набором идеальных частиц разных фракций из самых разнообразных металлов. Особенно хороши были нетускнеющие никелевые и вольфрамовые красавцы – прямо-таки для витрины ювелирного магазина ...



Выпускники Физтеха – ученики М. А. Лаврентьева, уехавшие в 1958 г. в Новосибирск, в Институт гидродинамики. Слева направо: Ю. А. Тришин, М. Е. Топчян, В. В. Митрофанов, Б. В. Войцеховский, Л. А. Лукьянчиков, Ю. И. Фадеенко, В. Л. Истомин, В. М. Титов. Снимок сделан в 1970 г. на юбилее Физтеха. Из архива Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Однако микрошарики, едва расставшись с ускоряющей струей, в воздухе быстро тормозились... Понадобилась вакуумная камера, насос, помещение, персонал ... словом, была организована специальная лаборатория (ее заведующим стал В. М. Титов) и дело пошло на лад. Первый же опыт в вакуумной камере дал, как по заказу, желаемый результат – 7,9 ... 8,0 км/с. Мы все-таки успели к пилотируемым полетам.

Вскоре из Москвы одна за другой потекли посылки с необычным содержимым: иллюминаторы, обшивка корабля “Восток”, шлем и детали скафандра космонавта. Они обстреливались “метеоритами” и отправлялись “казачику” для анализа и выводов. Работы по метеоритной тематике пережили короткий, но бурный расцвет до конца 1960-х, когда были резко сокращены советские космические проекты. За это время были достигнуты скорости метания 12–14 км/с, установлены контакты с десятками советских и зарубежных исследовательских организаций, проделана немалая работа по изучению явления высокоскоростного удара. Нашу взрывную площадку посетили многие делегации, включая космонавтов и астронавтов США.

Особенно запомнились полярные противоположности: Г. Береговой и Н. Армстронг. Береговой, несмотря на возраст, переполненный энергией и жадной немедленных активных действий, непременно хотел стоять рядом с местами демонстрационных взрывов, желательно в трех шагах. Рассматривая отстрелянные образцы, с азартом выпрашивал подробности; оглядываясь на американцев, вполголоса интересовался: “Когда вы этими штуками сможете достать супостатов в космосе?” Армстронг, первый человек, ступивший на Луну, был невозмутим и молчалив, как лунный камень... Я попросил его расписаться на брошюрке, сопровождающий удивленно сказал: “Ну, вам повезло! Армстронг автографов не дает”.

Прошли годы, прежде чем мы смогли правильно оценить место наших работ в мировой науке. Выяснилось, что в те самые времена секретные исследования в лабораториях разных стран сопровождались получением струй, потоков вещества, по массе и скорости намного превосходивших наши искусственные метеориты. Пожалуй, самых внушительных результатов добились

разработчики так называемых “имплозионных” схем атомных бомб, получавшие огромные скорости и концентрации энергии при взрывах обычных ВВ, “направленных внутрь”, к центру ядерного устройства. При нарушении центровки такой схемы из нее в момент максимального сжатия вырывались струи со скоростями едва ли не более 20 км/с. Но струи чего – паров, пены, жидкости? Использовать все эти схемы для разгона отдельных частиц известных размеров и формы, да еще и с проведением калибровочных отстрелов и измерений, было невозможно.

В течение нескольких лет мы были чуть ли не единственным коллективом, ставившим перед собой цель получить космические скорости именно на частицах известных размеров и формы. И получить их в лабораторном помещении, а не на ракетном полигоне, где до космических скоростей можно разгонять многотонные блоки. И вот на этом направлении наш маленький коллектив на несколько лет оказался обладателем мировых рекордов. Теперь-то ясно, что мы вышли на мировой уровень (где-то в районе 5–6 км/с) довольно быстро и продвинули черту мирового рекорда до 13–14 км/с. Увы! Это – уже без моего участия...

Здесь уместно напомнить, что эта работа, как и многие другие интересные начинания того времени, была начата студентами и основательно развита 30–35-летними людьми. Как много значит и может в науке энергия, энтузиазм молодости, направляемые опытом и мудростью стариков! (“Если бы молодость знала, если бы старость могла!”)

Конечно, за прошедшие 30 лет все эти достижения устарели. Они были перекрыты американцами, которые сначала при помощи легкогазовой пушки разогнали не микрошарик, а весомую “таблетку” до 11 км/с, а затем применили для метания специальный кумулятивный заряд с бериллиевой облицовкой. Скорость кумулятивной струи может быть тем большей, чем выше скорость звука в материале облицовки. Бериллий в этом отношении – рекордсмен среди металлов, и голова бериллиевой струи может достигать скорости 19 км/с. Американцы научились отсекал от бериллиевой струи взрывом этот головной элемент и использовать его как калиброванный ударник. Ну, а потом время метеоритных проблем и взрывных методов ускорения вообще прошло. Резко изменился характер интереса к космосу, подход к постановке задач. Накопленный практический опыт давно уже достаточен для учета метеоритной опасности при космических полетах и, если это оправдано, конструирования специальной противометеоритной защиты. “Высокоскоростная” тематика, если когда-то вновь оживет, то по непредвидимому сегодня поводу и наверняка в каком-то совершенно новом виде. Электростатические ускорители пыли на десятки км/с? Миниатюрные многоступенчатые ракеты? Время покажет.

Застой на этом направлении не может быть бесконечно долгим. Рано или поздно придет время для нового поколения молодых энтузиастов ...

Р.С. Вышеизложенное написано в апреле 1999 г. За это время кое-что изменилось. Намного усовершенствовались телескопы и техника наблюдений. Радикально изменились представления о “твердой составляющей космической материи”. Кажется, уже начинается прорисовываться новый этап интереса к удару с космическими скоростями: оценка опасности катастрофических столкновений Земли с крупными телами – кометами и астероидами» (23 января 2007)».

Взрыв-ледокол

Взрыв оказался работником на все руки – такой вывод позволяют сделать результаты исследований, проводившихся в Институте гидродинамики. Часто они были продолжением давних работ и возобновлялись по просьбам промышленных организаций, обращенных к руководству СО АН СССР.

Одно из практических применений взрыва, которыми интересовался Лаврентьев, связано с подрывом ледяного покрова на реках.

Лауреат Государственных премий Украины и РФ С.В. Малащенко вспоминал:

«Опыты обычно приурочивались к началу паводка на Днепре и проводились перед мостами – в целях предохранения их от повреждений ледоходом. Здесь также изучалась работа длинных зарядов, они изготовлялись либо в форме пороховых колбас в матерчатой оболочке, либо порох засыпался в длинную канаву, вырубаемую во льду.

Помню картинку: М. А. где-то на льду вдали, среди реки, что-то рубит пешней. А на берегу – замерзшие, переживающие Вера Евгеньевна и маленькая дочь Верочка, которые пришли посмотреть ледовый фейерверк и – оберегать папу.

Любимые цветы Веры Евгеньевны на подоконнике преждевременно увядали, так как освобожденные от них глиняные конусообразные горшки отлично показали себя при моделировании кумулятивных струй в воде... Опыты с применением горшков и вазонов выполнялись в так называемом верхнем “лягушачьем” пруду. Туда ходили компанией – всегда с гостями. Горшок с закрытым отверстием в дне, с подвязанным внизу зарядом отпускался плавать в пруд и там подрывался. Кумулятивная струя была хорошо видна, опыт оценивался по ее высоте – “выше осины или выше березы”.

Научных результатов, как правило, в таком опыте было два. Гости начинали веровать в наличие особого явления – кумуляции, а М. А. и соучастники опыта с изумлением убеждались, что лягушки, живущие в



пруду, выдерживают действие взрыва. Их выбрасывало на берег, но они оставались живы».

Эти днепровские опыты с подрывами ледовых полей не забылись и в Сибири, только здесь льды были северные, а задачи – намного масштабнее.

Об этой работе подробно рассказывает лауреат Ленинской премии Г.С. Мигиренко, в 1958–1973 гг. работавший заместителем директора ИГ СО АН СССР:

«Наши лаборатории ютились у ручья Зырянка во временных помещениях. Правда в то время мы были рады и этим помещениям и вели в них посильную научную деятельность. В частности, под руководством академика М. А. Лаврентьева наша научная молодежь исследовала целесообразность применения взрывных зарядов для разрушения льда. Важно было установить соответствие между размерами зарядов и толщиной льда, определить, какие заряды необходимы для продельвания во льдах майн заданных размеров.

Первая группа сотрудников Института гидродинамики прибыла в Новосибирск 27 июня 1958 г. На фото – Золотая долина, 1958 г.

Внизу: одно из рабочих помещений в Золотой долине – здесь рождалась мировая наука. Зима 1958/1959 гг.





Первая зима
в Сибири:
1958/1959 гг.
Внизу:
Михаил Алексеевич
с женой
Верой
Евгеньевной, зима
1958/1959 гг.

Зима 1958/1959 гг. выдалась по-настоящему сибирской, термометры у бараков, служивших жильем, иногда фиксировали 50 градусов ниже нуля. Лед на Обском море достиг метровой толщины. А так как толщина эта нарастала последовательно, имелась возможность пройти со взрывами целую гамму толщин и вывести закономерность.

Михаил Алексеевич был увлечен этой работой и часто увозил нас с собой на лед... Он орудовал пешней, подносил заряды, обмерял майны. Опыты должны были ответить на множество вопросов: что, если заряд поставить поверх льда? а что, если поместить во льду? а подо льдом? а на каком расстоянии? Словом, все сводилось к вопросу: как минимальным зарядом пробить максимальное отверстие?

...Скоро мы пришли к выводу, что для полноты исследования надо бы испробовать подрывы более толстого льда. Однако в районе Новосибирска зима уже кончалась, лед не нарастал. Хуже того, накопившийся на нем снег начал таять и постепенно разъедать лед. И тут Михаил Алексеевич внес предложение: не высаживаться ли нам на лед Карского моря?

Помню, мы немало смутились, и для этого было достаточно оснований... По-хорошему, надо было бы уговорить Михаила Алексеевича отказаться от заманчивой в научном отношении идеи или отпустить нас одних. Но стоило нам заикнуться об этом, как стало ясно, что продолжение дискуссии бессмысленно...

Нам предстояло попасть на остров Диксон, а уже оттуда – на лед в районе о. Сибирикова, что в устье



Через много лет уже другая команда сотрудников института с новой важной задачей динамики льда вновь оказалась в Арктике, в районе Северной Земли (на фото слева направо: А. Р. Бернгардт, В. М. Титов, В. Т. Кузавов, В. К. Кедринский, водитель вездехода Слава, В. Бондаренко, Н. Н. Чернобаев). За эти исследования А. Р. Бернгардт получил одну из первых премий Ленинского комсомола для молодых ученых

Енисея. Этот район являлся для нас особенно интересным – господствующая там толщина льда достигала 2 м... Когда уже практически по всему Енисею начиналась навигация, в устье его, перегороженным о. Сибирикова, надолго (иногда на целый месяц!) сохранялась ледовая перемычка... Это заставляло сокращать и без того короткий навигационный период ... Особую заботу представляла доставка на лед взрывчатки – надо было перевезти около 2 т тротила, притом очень быстро. Это можно было сделать с помощью самолетов, но нам дали только один. Недолго раздумывая, Михаил Алексеевич предложил взять взрывчатку с собой. Так мы с ней долетели сначала до Красноярска, затем перегрузились в самолет, доставивший нас в Норильск, а оттуда полярная авиация доставила нас по маршруту Норильск–Диксон–перемычка. Погрузкой и разгрузкой приходилось заниматься самим, ибо привлечение посторонних лиц могло раскрыть наш секрет. Михаил

Алексеевич был самым активным участником всех такелажных работ.

В Красноярке уже господствовала весна. Поудобнее устроившись на тротиле, мы отправились вдоль Енисея на север... Вскоре мы оказались на льду среди полярников из Ленинграда.

...Скоро все стало очень простым и обычным. Спали мало: надо было спешить, так как иногда ледоходы на Енисее бывают бурными и стремительными. Уберечься от такой стихии не представляется возможным. Устье Енисея имеет ширину до 15 км – лишь сильно напрягая зрение, можно было вдали различить очертания о. Сибирикова. В случае беды добежать до суши было бы непросто...

Наши соседи-ленинградцы изучали напряженное состояние в ледовой перемычке. Оказалось, что лед в некоторых местах сжимался, в других – наоборот, растягивался. Невольно напрашивалась мысль, что



Фото, демонстрирующее принципиально новый высокоэффективный способ тушения пожаров газонефтяных фонтанов, возникающих при авариях на скважинах. Тушение пожара по этому способу осуществляется путем импульсного воздействия на факел воздушным вихревым кольцом, заполненным распыленным огнетушащим порошком

Слева: эпизоды тушения горящего нефтяного факела, поглотившего 6 тыс. т топлива в сутки, вихрепорошковым методом. Для тушения этого пожара было использовано всего 6 кг взрывчатого вещества и 500 кг огнетушащего порошка

заряды надо ставить в местах растяжения перемычки, тогда после взрыва она сама развалится на части и уйдет в Карское море.

Мы установили, что при подледных взрывах требуется значительно меньше взрывчатки. Однако не так просто поместить заряд под двухметровый лед: приходилось орудовать и сверлами, и малыми зарядами. Эффект взрыва подо льдом оказался исключительно сильным, а для того чтобы перешибить ледяное поле поперек, надо было связывать заряды в цепочки и сплавлять их подо льдом, используя течение. Расчеты показали, что при сравнительно небольшом общем количестве зарядов можно было одним взрывом удалить из устья реки всю перемычку. В общем экспедиция дала материал и для интересных научных обобщений, и для полезных практических применений» (Рассказы об ученых, 1965).

От детонационных покрытий до вихревого тушения пожаров

Еще одно перспективнейшее направление исследований «взрывной» тематики было заложено М. А. Лаврентьевым в середине 1950-х гг., после возвращения в Москву из Ядерного центра в Арзамасе-16, где велись работы над артиллерийским ядерным снарядом. Лаврентьев предложил одному из своих учеников – Б. В. Войцеховскому – заняться «экзотической» проблемой спиновой детонации. В конечном результате работа над этой небольшой задачей привела к пересмотру классической теории детонации с плоским фронтом и открытию поперечной волны и многофронтной детонации. Результаты оказались столь фундаментальны, что были отмечены не только Ленинской премией, но и Дипломами о научном открытии, а дальнейшее развитие идей в этой области уже в XXI в. – Государственной премией РФ.

Объектом современных исследований Института гидродинамики являются проблемы горения и детона-

ции так называемых гетерогенных систем, где горючее и окислитель исходно находятся в различных фазовых состояниях. Примером могут служить капли жидкого горючего (бензин, керосин и т. п.) или твердые частицы (металлы, угольная пыль, мука) в атмосфере газообразного окислителя (например, в воздухе). Гетерогенной средой являются и газожидкостные смеси, от пенных структур до жидкостей с небольшим количеством пузырьков газа. Последняя система может возникать при утечке и всплывании метана в результате разработки газогидратных месторождений, залегающих на морском дне. (Кстати сказать, этим явлением объясняется и одна из загадок Бермудского треугольника: суда попадают в такой вспененный столб с низкой плотностью и практически мгновенно теряют плавучесть, не успевая подать сигнал бедствия.) Существуют и многообразные пористые среды в виде прочного каркаса с межпоровыми пустотами, заполненные газообразными или жидкими компонентами (такая структура типична для пород в местах залегания нефти и природного газа).

Аспект практического применения научных результатов по горению и детонации подобных многовариантных гетерогенных систем очень важен. Из последних открытий в этом плане особенно интересен экспериментально зафиксированный эффект полного срыва детонации и горения метановой смеси с помощью завес из инертного мелкодисперсного песка. Таким способом можно подавлять аварийные взрывы метан-воздушной смеси в шахтах.

Широкое практическое применение в технологии нанесения покрытий нашла газовая детонация. Детонационная пушка представляет собой ствол с открытым торцом, периодически заполняемый горючей газовой смесью, куда впрыскивается порция порошкового материала – будущее покрытие. После инициирования смеси возникает детонационная волна, которая распространяется вдоль ствола, вовлекая и одновременно нагревая частицы порошка. Вылетая из ствола с высокой скоростью, частицы соударяются с напыляемой поверхностью, формируя детонационное покрытие.



М. А. Лаврентьев и Б. В. Войцеховский (стоит спиной в светлой кепке) у гидропушки. Середина 1960-х гг. Фото из архива СО РАН

Аналогичная установка без порошка используется для очистки от пылевых отложений различных поверхностей, например, электродов, улавливающих цементную пыль на заводах (при ударно-волновом воздействии взрывной волны такая пыль вновь возвращается в производственный цикл, что обеспечивает сбережение ресурсов и экологическую безопасность технологии).

Почти одновременно с работами по детонации гетерогенных систем начались исследования вихревых движений газа. Примером последних служат кольца из дыма, пускать которые считается особым шиком среди начинающих курильщиков. Одну из многочисленных идей Лаврентьева в области использования вихревых течений и взрыва стал развивать его ученик Б. А. Луговцов: разработанная им математическая модель движения и структуры вихревых колец дала возможность рассчитать параметры турбулентного вихревого кольца.

В рамках этих исследований было проведено много экспериментов, в том числе на острове в Обском море были подорваны 3 т распыленного в воздухе бензина. В результате детонации этой двухфазной бензино-воздушной смеси сначала сформировался огненный

шар диаметром 80 м, который превратился в «гриб», а затем – в вихревое кольцо, которое поднялось на высоту более 2 км. На основе подобных результатов Лаврентьев предположил, что с помощью вихревых колец большого диаметра можно воздействовать на атмосферу и вызывать дожди.

Все эти исследования послужили основой для создания эффективных методов тушения пожаров на нефтяных и газовых скважинах с помощью вихревых колец и импульсных струй огнетушащего порошка. В сентябре 1973 г. на полигоне Нижневартовска были проведены первые успешные натурные испытания взрывного метода тушения горящего нефтяного фонтана, разработанного в лаборатории Луговцова совместно с новосибирским Управлением пожарной охраны УВД. А через 9 лет с помощью вихрепорошкового метода был погашен факел на газовой скважине «Южная Тандырча» (Узбекистан). Высота этого факела достигала 90 м, а диаметр – 15 м. Благодаря использованию 19 кг взрывчатки и 1,5 тыс. кг огнетушащего порошка за несколько секунд пламя, которое месяц не удавалось погасить традиционными способами, было сбито.



Сваркой взрывом были получены заготовки триметалла титан-ниобий-титан, из которых изготовлены сопловые насадки ракетного двигателя для космического корабля «Луна-16»

Путем объединения технологии сварки взрывом с традиционным нагревом материала и его выдержки в течение некоторого времени получают интерметаллидные композиты. На фото – интерметаллидные слои Al_3Ti , полученные в результате дополнительного нагрева соединенного взрывом композита из слоев алюминия (светлый) и титана (темный) до температуры 650 °С и выдержки в течение пяти часов



Сварка взрывом и взрыв-ювелир

Во взрывной тематике эра «нано» началась задолго до ее раскрутки СМИ. Так, специалистам Института гидродинамики принадлежит одна из первых в мире работ об образовании в продуктах взрыва ультрадисперсных частиц алмаза (Лямин и др., 1988). Этот поразительный эффект был обнаружен уже после ухода из жизни М. А. Лаврентьева. Совместно с НПО «Алтай» эти исследования были доведены до практической технологии, за что коллектив авторов в 1994 г. получил Государственную премию РФ.

Еще одно новое направление связано с так называемой сваркой взрывом.

Об истории этих работ можно узнать из воспоминаний самого М. А. Лаврентьева:

«Стрелочный завод обратился к нам с просьбой помочь осуществить упрочнение взрывом подвижной части стрелки. Сотрудники института А. А. Дерибас, Ю. А. Тришин, Е. И. Биченков быстро провели нужный опыт. Обработанная взрывом стрелка была поставлена на путь, и через полгода стало ясно, что она может служить в два раза дольше, чем обычно. При желании за полгода—год можно было наладить упрочнение всех выпускаемых заводом стрелок и тем самым дать солидную прибыль. К сожалению, из-за бюрократической волокиты широкое внедрение затянулось: чтобы запустить на заводе цех по упрочнению взрывом, понадобилось почти 15 лет!

Разработка метода упрочнения случайно привела к новому научно-техническому открытию. Желая усилить эффект и избавиться от возможных при взрыве нарушений поверхности стрелки, попробовали упрочнить стрелку, бросая на нее взрывом металлическую пластину. При опытах неожиданно обнаружилось, что металлическая пластина часто приваривалась к стрелке. Развитие теории и практики сварки взрывом взял на себя А. А. Дерибас.

Забавное в этой истории то, что за 15 лет до описанных опытов аналогичная «сварка» была получена Н. М. Сытым в моей лаборатории под Киевом. Для опытов была нужна медная болванка диаметром 10—20 см. Достать такую болванку мы не смогли, но у нас была медная проволока. Сытый взял пучок этой проволоки, обмотал детонирующим шнуром и произвел подрыв. Получилась нужная монолитная болванка (это была первая реализация технологии взрывного компактирования материалов). Аналогичная сварка происходила также и при опытах с кумулятивными зарядами, но мы рассматривали эти эффекты как курьез.

Параллельно с нами сваркой взрывом начали заниматься в США, а позже, и в очень широких масштабах, —

в Швеции, ФРГ, Японии. По количеству различных применений взрыва для сварки мы сегодня занимаем 1—2-е место в мире, зато по массовому применению для производства особо важных биметаллических изделий (таких как сталь-нержавейка) — одно из последних мест. Причина — министерствам невыгодно выпускать биметалл, в несколько раз более дешевый, чем дорогой металл с теми же качествами».

С момента написания этих строк многое изменилось. Здесь нужно упомянуть, что существуют два предельных режима распространения волны по горючей смеси: во-первых, ламинарное горение с характерными скоростями в несколько десятков сантиметров в секунду (например, пламя новогодней свечи или пламя зажигалки), основными механизмами которого является теплопроводность и диффузия; второй — сверхзвуковая детонация со скоростями около 2—3 км/с для газовых систем и 5—8 км/с (первая космическая скорость для Земли!) для твердых ВВ, в которой ведущую роль играет головная ударная волна. В Институте гидродинамики в последние годы ведутся активные исследования в области так называемых эмульсионных взрывчатых веществ, где в качестве наполнителя используются... пустотелые крошечные шарики. В таких ВВ удается в широких пределах варьировать интенсивность детонационных волн, а также степень их воздействия на окружающие предметы.

Новый подход позволил модернизировать традиционную технологию сварки взрывом настолько, что с ее помощью сегодня стало возможным получать новые биметаллические материалы на основе тонкой металлической фольги толщиной до 100 мкм. Только вдумайтесь: взрыв — и тонкая фольга, причем не покорбленная, как ожидалось!

В последние годы сварку взрывом стали использовать для создания многослойных композиционных материалов. Например, чередованием тонких слоев из различных металлов можно создать композит с повышенной ударной вязкостью, который можно использовать для защиты военной техники. Объединение технологии сварки взрывом с традиционным нагревом материала позволяет получать новые структурные материалы — интерметаллидные композиты.

В Институте гидродинамики была освоена и технология искрового плазменного спекания порошковых материалов с субмикронным или наноразмерным зерном (метод SPS), которая использует совместное воздействие высокого давления, температуры и импульсных токов. В результате можно получить, к примеру, плотную высокотемпературную керамику, представляющую интерес для газотурбинного двигателестроения.

В работе над новыми проектами по взрывной тематике большим подспорьем станет не имеющая мировых аналогов методика исследования взрывных процессов



с помощью синхротронного излучения, разработанная Институтом гидродинамики совместно с Институтом ядерной физики и Институтом химии твердого тела и механохимии СО РАН.

Михаил Алексеевич Лаврентьев с учащимися физико-математической школы при НГУ, 1960-е гг. Фото из Музея НГУ

В качестве заключения хочется еще раз отметить, что принципы, заложенные М. А. Лаврентьевым в основу работы как Сибирского отделения Академии наук в целом, так и его первого института, успешно работали в советские годы и выдержали тяжелейшие проверки временем перестройки.

И когда в 1965 г. Председатель Совета Министров СССР А. Н. Косыгин утверждал акт приемки первой очереди Академгородка, он дописал чернилами на официальном документе: «Отметить, что стройка уложилась в утвержденные для нее ассигнования». Подобным не могут похвастаться ни Сколково, ни РОСНАНО, ни Олимпийский комплекс в Сочи, ни космодром «Восточный», ни многие другие объекты, находящиеся под управлением современных «эффективных менеджеров». И в этом смысле тезис о неэффективном управлении Академией наук своей собственностью,

явившийся одним из оснований для последней разрушительной реформы РАН, лопается как мыльный пузырь.

Сам основатель Сибирского отделения был не только выдающимся ученым и замечательным организатором, но и настоящим Учителем в науке и жизни для нескольких поколений молодых исследователей, его учеников и последователей. Идеи Лаврентьева, посеянные в благодатную почву, продолжают развиваться: находятся решения поставленных некогда проблем, возникают новые задачи, на которых вырастают новые поколения исследователей. Таково лаврентьевское наследие, ценность которого с течением времени только возрастает. И за это Михаила Алексеевича помнят, ценят и благодарят все, кому удалось соприкоснуться с ним и результатами его научного поиска.

Чтим и помним!