

Учебно-методическая статья
УДК 532, 539, 620.1
DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-2-81-92

Кафедра физики сплошных сред

Евгений Иванович Пальчиков¹,
Мария Станиславовна Котельникова²

¹⁻²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
Новосибирск, Россия

¹⁻²Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

¹Palchikov@academ.org

²m.kotelnikova@g.nsu.ru

Аннотация

Статья рассказывает об истории создания кафедры физики сплошных сред физического факультета НГУ, научных достижениях ее сотрудников и выпускников, методике подготовки специалистов, научных направлениях, развиваемых на кафедре.

Ключевые слова

кафедра физики сплошных сред, Институт гидродинамики СО РАН

Для цитирования

Пальчиков Е. И., Котельникова М. С. Кафедра физики сплошных сред // Сибирский физический журнал. 2022. Т. 17, № 2. С. 81–92. DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-2-81-92

Chair of Continuous Media Physics

Evgeniy I. Palchikov¹,
Maria S. Kotelnikova²

¹⁻²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

¹⁻²Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

¹Palchikov@academ.org

²m.kotelnikova@g.nsu.ru

Abstract

The paper talks about the history of the creation of the Chair of Continuous Media Physics of the Physics Department of NSU, the scientific achievements of its employees and graduates, the teaching methods and hints, the fields of interest in science.

Keywords

Chair of Continuous Media Physics, Institute of Hydrodynamics SB RAS

For citation

Palchikov E. I., Kotelnikova M. S. Chair of Continuous Media Physics. Siberian Journal of Physics, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 81–92. DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-2-81-92

История кафедры

Кафедра физики сплошных сред основана на физическом факультете НГУ в 1965 г. по инициативе академика М. А. Лаврентьева с целью подготовки квалифицированных специалистов по ряду направлений современной гидро- и газодинамики, физике сплошной среды и механике импульсных, в том числе взрывных, процессов в газообразных и конденсированных средах.

Первым заведующим кафедрой (до 1990 г. – кафедра физики быстропротекающих процессов) был профессор Б. В. Войцеховский (впоследствии академик РАН). С 1971 г. по 1990 г. и с 1992 г. по 2014 г. кафедру возглавлял академик В. М. Титов, а в период 1990–1992 гг. – профессор В. Ф. Нестеренко. В этот период кафедра называлась кафедрой физики взрыва, позднее она получила сегодняшнее наименование. В 2014 г. кафедру физики сплошных сред возглавил профессор Е. И. Пальчиков. Базовыми для кафедры являются лаборатории Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН.



Рис. 1. Заведующие кафедрой физики сплошных сред в разные годы: академик Б. В. Войцеховский, академик В. М. Титов, профессор В. Ф. Нестеренко, профессор Е.И. Пальчиков (слева направо)

Fig. 1. Heads of the Chair of Continuous Media Physics in different years: academician B. V. Voitkhovskiy, academician V. M. Titov, professor V. F. Nesterenko, Professor E. I. Palchikov (from left to right)

Кафедра готовит специалистов экспериментального и теоретико-расчетного профиля в области физики и механики высокоэнергетичных процессов в сплошной среде (твердые тела, жидкости и газы) и в гетерогенных дисперсных средах. В сферу интересов специалистов кафедры и ее выпускников попадают динамично развивающиеся научные направления: физика ударных волн и детонационных волн, физика фазовых переходов при динамическом воздействии, разнообразные кумулятивные процессы, в том числе магнитная кумуляция и реализация экстремальных величин тока и напряженности магнитного поля, гидродинамика многофазных и неньютоновских жидкостей.

На кафедре работают 6 профессоров и 4 доцента, все преподаватели кафедры одновременно являются научными сотрудниками, активно работающими в области физики сплошных сред и физики взрыва. За время существования кафедры на ней защитили дипломные работы около 300 студентов, более 20 выпускников получили степень доктора наук, а более 80 защитили кандидатские диссертации. Сотрудники кафедры и ее выпускники получили Ленинскую премию и Государственную премию СССР, 3 премии Совета Министров СССР, Государственную премию России, 8 премий им. Ленинского комсомола.

Выпускники кафедры могут заниматься научными и прикладными исследованиями в следующих областях: физика и механика импульсных процессов при экстремально высоких давлениях и температурах, газовая динамика, кумулятивные процессы, численное моделирование ударно-волновых и детонационных течений в сплошных средах, подводный взрыв и кавитационные явления, сварка и обработка материалов взрывом, ударно-волновой синтез новых материалов и динамическое компактирование порошковых материалов, преобразование химической энергии взрыва в электромагнитную, ударные и детонационные волны в дву- и многофазных средах, разработка методов диагностики быстропротекающих процессов.

В настоящее время в тематике выпускных квалификационных работ выпускников кафедры преобладают такие активно развивающиеся направления как исследования быстропротекающих процессов с помощью синхротронного излучения и гидравлического разрыва пласта. Учитывая смещение акцентов в сторону изучения фундаментальных процессов физики сплошной среды, выпускники кафедры могут работать не только в традиционных (для указанных направлений) организациях, но и в исследовательских институтах и вузах, разрабатывающих широкий спектр проблем физики и механики сплошных сред, а также в крупнейших нефтегазодобывающих компаниях и их научно-технических центрах.

Достижения сотрудников и выпускников кафедры

В начальный период основной задачей кафедры было обеспечение институтов СО РАН необходимыми специалистами. Эта задача была успешно решена. Сегодня выпускники кафедры составляют ядро исследователей трех отделов Института гидродинамики, работают в Институте теоретической и прикладной механики, Институте горного дела, Институте теплофизики, Институте прикладной физики, КТИ гидроимпульсной техники, СФУ в Красноярске, Федеральном ядерном центре в г. Снежинск, в НИИ городов Бийска, Томска, Нефтеюганска, а также в Калифорнийском университете, Университете Дьюка в США, Университете Йорка в Великобритании и др.

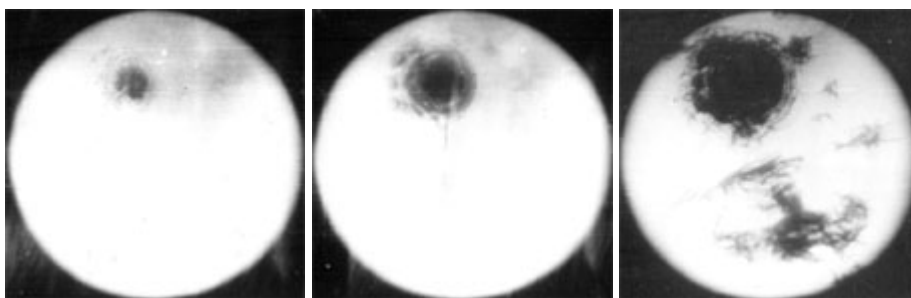


Рис. 2. Полученные с помощью высокоскоростной камеры снимки взаимодействия метеорита с иллюминатором на различных стадиях

Fig. 2. Images of the interaction of the meteorite with glass at various stages obtained with a high-speed camera

Выпускники кафедры во многом определили плодотворное развитие в СО РАН ряда приоритетных научных и научно-технических направлений. Так, например, исследование в лабораторных условиях явления высокоскоростного удара при скоростях взаимодействия

до 10–14 км/с стало возможным благодаря технологии получения космических скоростей, основанный на использовании кумулятивных зарядов и было проведено впервые В. М. Титовым и Г. А. Швецовым [1], по результатам этих работ были получены первые отечественные рекомендации по метеоритной безопасности и защите космической техники.

Изучение специалистами кафедры процесса высокоскоростной деформации материалов породило целое научно-техническое направление динамической обработки материалов, включающее сварку взрывом, упрочнение взрывом, динамическое компактирование материалов и пр. У истоков создания этих прорывных для своего времени технологий стояли: Дерibas А. А., Биченков Е. И., Тришин Ю. А. [2], Яковлев В. И. [3], Ульяницкий В. Ю. [4] и другие.

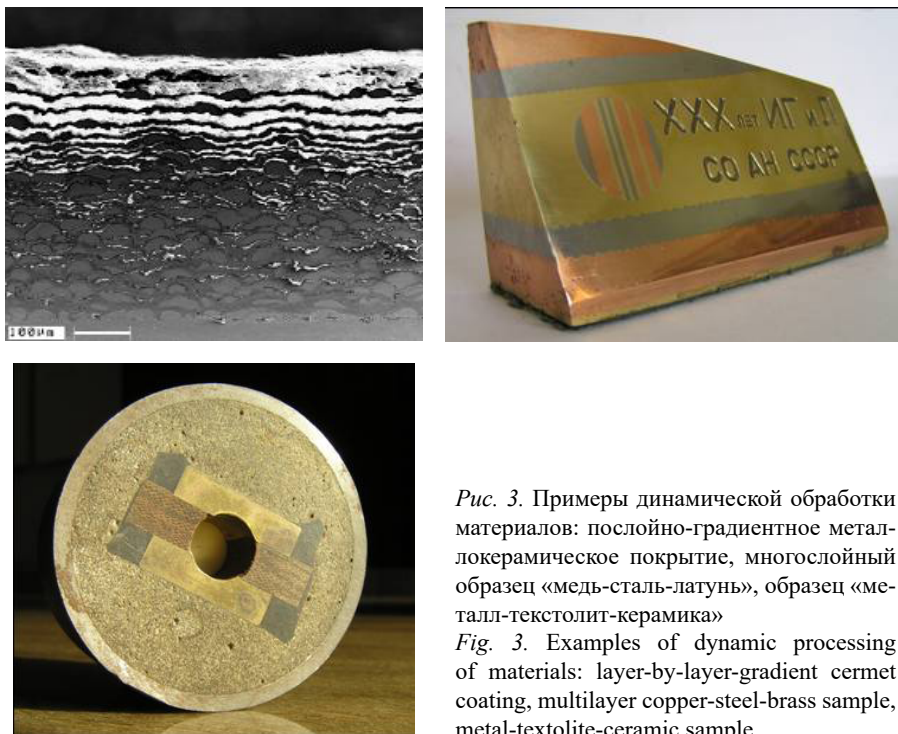


Рис. 3. Примеры динамической обработки материалов: послойно-градиентное металлокерамическое покрытие, многослойный образец «медь-сталь-латунь», образец «металл-текстолит-керамика»

Fig. 3. Examples of dynamic processing of materials: layer-by-layer-gradient cermet coating, multilayer copper-steel-brass sample, metal-textolite-ceramic sample

В воспоминаниях М. А. Лаврентьева сказано, что одной из первых установок в Институте гидродинамики была установка по изучению детонации (взрыва) газа в цилиндрической трубе. На базе нее была экспериментально обнаружена и объяснена неустойчивость детонационной волны в газовых смесях. Открытие и объяснение поперечных волн как основного элемента сложной структуры реальной детонационной волны послужило базой последующего развития теории многофронтной детонации. Выявленные Б. В. Войцеховским совместно с Р. И. Солоухиным, В. В. Митрофановым и М. Е. Топчианом [5; 6; 7] особенности механизма многофронтной и спиновой детонации служат основой при создании реактивных двигателей нового поколения, работающих на режимах детонационного сгорания смеси.

Б. В. Войцеховский некоторое время занимался построением теоретической модели образования шаровой молнии, для объяснения природы таких явлений как огни святого Эльма и шаровая молния им были поставлены и выполнены фундаментальные эксперименты, моделирующие атмосферное электричество [8; 9].

Уникальную разработку прямого метода получения искусственных алмазов в детонационной волне из углерода, входящего в состав молекул взрывчатого вещества, в Институте гидродинамики вели А. М. Ставер, В. М. Титов, А. И. Лямкин и А. П. Ершов, совместно с сотрудниками Красноярского научного центра СО РАН [10]. На основе этого метода в Научно-производственном объединении «Алтай» было создано первое в мире промышленное производство по синтезу ультрадисперсных синтетических алмазов.



Рис. 4. Б. В. Войцеховский демонстрирует эффект образования огней святого Эльма в своей лаборатории
Fig. 4. B. V. Voitsekhovskiy demonstrates the effect of the formation of St. Elmo's fire in his laboratory

Исследование физики процесса детонации порошковых ВВ [11; 12] позволило группе под руководством Л. А. Лукьянчикова разработать новый тип безопасных нетоксичных электродетонаторов типа ЭДВ (выпускаются серийно) и ЭДН (проведены первичные промышленные испытания, выпущена партия 0,5 млн шт., предназначены для геоло-горазведочных работ) и систем неэлектрического взрывания СИНВ, используемых в горной промышленности страны, серийное производство которых развернуто в г. Новосибирске. внедрение технологии гидро-взрывной многоимпульсной штамповки деталей самолетов из нержавеющей стали и титановых сплавов на ГАЗ им. С. Орджоникидзе (г. Горький), и ФУП «Чкаловский завод» (г. Новосибирск); обнаружение факта высокой пробойной прочности продуктов взрыва и гашения дуги, что позволило начать широкое использование взрывных размыкателей тока в научно-технических целях.

Разработка Е. И. Биченковым и Е. И. Пальчиковым импульсных рентгеновских аппаратов [13; 14] завершилась изготовлением опытной партии новой серии аппаратов ПИР-600 и ПИР-100 для исследования высокоскоростных процессов, освоенных в серийном производстве на НПО «Спектр» (Министерство приборостроения СССР) и запатентованных в ряде стран.

Благодаря работам под руководством профессора М. Е. Топчияна [15] появилось новое поколение гиперзвуковых аэродинамических труб ударного действия, обеспечивающее максимальное приближение к натуральным числам Рейнольдса, необходимым для моделирования полетных условий в диапазоне чисел Маха $M = 6-24$.

Исследования профессоров кафедры В. В. Митрофанова и А. А. Васильева по инициированию и распространению волн детонации в открытом пространстве [16; 17] были удостоены Государственной премии РФ. Ими были созданы модели объемной детонации, изучены поля давлений и импульсов, генерируемых детонационными взрывами газовых облаков в окружающей атмосфере, разработаны приближенные модели для оценки детонационной опасности различных горючих смесей.

Уникальная технология резки отработавших срок сборок ТВЭЛов АЭС при помощи высокоскоростных струй, созданная Б. В. Войцеховским, В. В. Митрофановым и В. Л. Истоминым [18], позволила создать автоматизированный комплекс измельчения и удаления радиоактивных сборок ТВЭЛов. Комплекс обеспечивает переработку всех существующих типов отработавших сборок ядерных реакторов АЭС и транспортных энергетических установок, а также транспортировку твердых радиоактивных отходов в спецмогильник.

В. И. Долгов был удостоен Государственной премии СССР за серию работ по созданию технологии комплексной переработки оловосодержащего сырья. Примененные им закономерности гидродинамических течений в узких каналах позволили разработать новые технологические процессы и аппараты центробежного рафинирования цветных металлов и их сплавов, с помощью которых были получены рекордные в мире показатели извлечения таких металлов как олово, цинк, свинец, висмут.

Уникальные исследования преобразования энергии взрыва в электромагнитную, начатые В. М. Титовым и развитые в лаборатории под руководством Г. А. Швецова, позволили найти решение проблемы разрушения кумулятивной струи при помощи мощного импульса тока, разработать электромагнитные методов ускорения твердых тел, получить в лабораторных условиях сверхсильные импульсные магнитные поля и токи [19; 20].



Рис. 5. Примеры тушения пожаров на скважинах взрыво-порошковым способом
Fig. 5. Examples of extinguishing fires in wells using the explosive powder method

Опыт, накопленный в лаборатории возглавляемой Б. А. Луговцовым, при исследовании вихревых колец, позволил предложить новый способ тушения газовых и нефтяных пожаров [21]. Высота факела при пожаре на скважине достигает 80–100 м и имеет максимальный диаметр 10–15 м, если создать вихревое кольцо, движущееся вдоль оси факела снизу вверх, то при таком движении «атмосфера» вихревого кольца сдувает пламя и пожар прекращается. Такие вихревые кольца могут быть получены с помощью взрыва небольших зарядов взрывчатого вещества. Взрыво-порошковый способ позволяет значительно сократить время тушения пожаров.

Сотрудники и выпускники кафедры принимали активное участие в ряде приоритетных оборонных программ: разработка перспективных кумулятивных систем, исследование особенностей разрушения ледовых покрытий при динамическом нагружении с целью использования оборонных комплексов в условиях Арктики, разработка элементов пневмотранспорта для перемещения специзделий, разработка динамической антикумулятивной защиты (активной брони) [22].

Как следует из далеко не полного перечня, тематика научной работы кафедры всегда была связана с современными как научными, так и техническими задачами. О высоком уровне подготовки специалистов на кафедре свидетельствует также то, что наши выпускники востребованы как руководители не только в России: профессор А. А. Васильев возглавлял Института гидродинамики СО РАН, профессор В. И. Кирко был директором НИИФТИ при Красноярском государственном университете, д.т.н. В. В. Андреев – заместителем главного технолога завода «Искра» (Новосибирск); но и за рубежом: д-р физ.-мат. наук В. А. Владимиров возглавлял Институт прикладной математики Университета г. Халл (Великобритания), д-р физ.-мат. наук В. Ф. Нестеренко стал ведущим профессором Калифорнийского университета (г. Сан-Диего, США), к.ф.-м.н. А. Д. Реснянский – руководителем лаборатории Отдела систем вооружений (г. Эдинбург, Австралия).

Наши выпускники являются также членами редколлегии ведущих российских журналов: профессор Г. А. Швецов – журнал «Прикладная математика и техническая физика», к.ф.-м.н. С. М. Караханов – журнал «Физика горения и взрыва», переводимых за рубежом и занимающих неплохое место в рейтинге отечественных научных изданий.

Выпускники кафедры ведут активную преподавательскую деятельность в вузах Новосибирска: Новосибирском государственном университете, Новосибирском государственном техническом университете, Высшем колледже информатики, Югорском и Сибирском федеральном университетах и в ряде других вузов страны.

Технология подготовки специалистов

На кафедре преподавали и преподают не просто профессионалы своего дела, но и активно работающие в науке ученые различных возрастов. Поэтому программы спецкурсов и тематика дипломных работ выпускников кафедры всегда соответствовали актуальным проблемам, связанные с планами научно-исследовательских работ базового Института и прикладными разработками. Студенты кафедры выполняют квалификационные работы непосредственно в научно-исследовательских подразделениях Института, используют те же приборы, оборудование и методики исследований, что и научные сотрудники Института, работают в особой, научно-технической среде, способствующей развитию у них творческих способностей, самостоятельности, умению принимать решения, активно отстаивать и защищать результаты своих исследований.

Все спецкурсы на кафедре физики сплошных сред разбиты на две группы в соответствии с системой «бакалавр – магистр». На первой ступени специального обучения при подготовке бакалавров студенты третьего и четвертого курсов слушают базовые спецкурсы, без которых

немыслима подготовка специалистов высокого уровня в области физики и механики быстропротекающих процессов.

На третьем курсе это прежде всего: «Введение в механику импульсных процессов», «Газовая динамика», «Теория детонации», «Экспериментальные методы исследований», «Ударные волны в конденсированных средах». Спецкурсы дают представление о языке этого научного направления, о тех основных понятиях, физических моделях и явлениях, методах исследования, с которыми приходится сталкиваться будущим выпускникам при подготовке квалификационных работ.

В первом семестре четвертого курса студенты знакомятся с более специальными вопросами на спецкурсах «Гидродинамические аспекты физики взрыва», «Физические явления при ударном сжатии», «Избранные главы взрывной магнитной гидродинамики». Последний семестр четвертого курса практически полностью освобожден от спецкурсов для того, чтобы студенты имели возможность выполнить выпускную квалификационную работу, читается один курс – «Энергоемкие материалы».

Преддипломную практику студенты кафедры начинают со второй половины третьего курса, когда они выбирают тему дипломной работы, предлагаемую будущим научным руководителем. Это либо преподаватель кафедры, либо любой научный сотрудник (как правило, лица, имеющие ученую степень). После выбора руководителя студенты начинают более углубленно знакомиться с содержанием предполагаемой работы.

Учебная программа магистратуры дополнена рядом курсов, на которых рассматриваются специальные вопросы физики быстропротекающих процессов и сплошных сред, такими как «Взрывчатые вещества», «Численные методы механики сплошных сред», «Современная гидродинамика», «Взрыв и новые материалы», также читаются продолжения курсов «Газовая динамика» и «Теория детонации».



Рис. 6. Студенты лаборатории физики взрыва ИГиЛ СО РАН Кирилл Новоселов, Аркадий Хорунженко, Алексей Студенников и научный руководитель К.А. Тен (выпускник кафедры 1973 г.) с представителем РФЯЦ-ВНИИТФ на конференции в г. Снежинск

Fig. 6. Students of the Explosion Physics Laboratory Kirill Novoselov, Arkady Khorunzhenko, Alexey Studennikov and scientific adviser K.A. Ten (a graduate of the department) with a representative of RFNC-VNIITF at a conference in Snezhinsk

Рис. 7. Выпускники кафедры к.ф.-м.н. А. С. Юношев и д.ф.-м.н. В. В. Сильвестров у стендовых докладов на конференции «Лаврентьевские чтения»

Fig. 7. Graduates of the department Ph.D. A. S. Yunoshev and Dr. of Science V. V. Silvestrov at poster presentations at the conference «Lavrentyev Readings»



Каждая дипломная работа на кафедре – маленькое научное исследование, выполняемое студентом самостоятельно. Для студента обязательно четкое понимание ответов на два вопроса: зачем выполняется эта работа и в чем заключается элемент новизны в работе. Безусловно, столь жесткие требования применимы далеко не к каждому студенту. Но практика подготовки специалистов показывает, что часть наших выпускников вполне способна после университета работать продуктивно и самостоятельно, и не только в сфере науки, но и в других областях человеческой деятельности.

Естественно, что будучи вовлеченными в работу над интересными научными проектами многие выпускники не расстаются с Институтом гидродинамики после окончания обучения, на кафедре высок уровень преемственности – ученик В. М. Титова В. В. Сильвестров сменил его на посту заведующего лабораторией высокоскоростных процессов, многие годы был заместителем зав. кафедрой, вел методическую и организационную работу, а сейчас лабораторию возглавляет уже его ученик, к.ф.-м.н. А. С. Юношев. Также выпускники кафедры возглавляют лаборатории динамики многофазных сред и кумуляции (А. Л. Куперштох), вихревых движений жидкости и газа (В. В. Никулин), динамических воздействий (В. В. Пай), физики взрыва (Э. Р. Прууэл), экспериментальной и прикладной гидродинамики (А. С. Бесов), и др.

Студенты кафедры принимают активное участие в работе научных семинаров отделов и лабораторий в базовом Институте, выступают на студенческих и «взрослых» научных конференциях и являются авторами и соавторами научных публикаций. Совет научной молодежи Института гидродинамики ежегодно проводит конкурс работ молодых ученых с отдельными номинациями для студентов бакалавриата и магистратуры.

Научные направления

Кафедра находится в постоянном поиске новых научно-технических направлений, в которых будут специализироваться ее выпускники, поддерживая при этом все исторически сформировавшиеся, остающиеся актуальными и востребованными.

Разрабатываются новые подходы к исследованию динамических процессов, основанные на применении уникальных исследовательских стендов СО РАН. Это развитие бесконтактных методик исследования взрывных процессов: применение синхротронного излучения и микроволн в миллиметровом диапазоне, лазерной диагностики газовых потоков. Опыт применения синхротронного излучения для исследования детонационных процессов активировал сотрудничество с Институтом ядерной физики СО РАН, выпускник кафедры И. А. Рубцов стал координатором экспериментальной станции 1–3 ЦКП СКИФ.

По-прежнему актуальной остается тематика динамического воздействия на материалы, как в методическом, так и прикладном плане. Стоит упомянуть компактирование порошков и упрочнение металлов взрывом, сварку взрывом и создание новых, например, сверхтвердых материалов при помощи энергии взрыва. Весьма перспективным является использование техники детонационного нанесения защитных покрытий для решения множества прикладных задач.



Рис. 8. Проект необычного фонтана, реализованный Е. И. Пальчиковым и В. П. Чистяковым

Fig. 8. The project of an unusual fountain, implemented by E. I. Palchikov and V. P. Chistyakov

Значительное внимание продолжает уделяться вопросам преобразования энергии взрыва в электромагнитную энергию. Здесь и получение сверхсильных магнитных полей до 10 мегагаусс, и ускорение твердых тел до космических скоростей, и разрушение кумулятивных струй мощными импульсами тока.

Преподавателями кафедры ведутся активные работы по аналитическому исследованию магнитогидродинамических течений, по численному моделированию разнообразных динамических и взрывных процессов в конденсированных средах и газах, моделированию развития электрических разрядов и вулканических извержений.

В связи с появлением в Институте новых лабораторий, занимающихся прикладными задачами добычи углеводородов (нефтяной инжиниринг, технологии гидравлического разрыва пласта) вырос интерес к экспериментальной гидродинамике сред со сложной реологией.

Значительное место в исследованиях занимают вопросы, связанные с созданием так называемых детонационных двигателей, использующих энергию детонации, а не горения, взрывчатых газов. В данном режиме воздушно-космический корабль может использовать забортный кислород до высоты ~ 80 км и скорости 23 маха. А это новый класс летательных аппаратов на границе атмосфера-космос. Интересуют также классические вопросы перехода горения в детонацию и инициирования детонации горючих газовых и газокапельных смесей, что связано с необходимостью повышения безопасности при транспортировке больших объемов сжиженных газов, нефти и прочих продуктов.

В заключении процитируем академика В. М. Титова, многие годы возглавлявшего кафедру физики сплошных сред: «Перед будущими выпускниками кафедры лежат трудные дороги исследований в новой, во многом неизведанной, удивительной и неожиданной области науки и техники, где уровень энергетического воздействия на среду, временной масштаб протекающих процессов, их сложность бросают вызов интуиции и интеллекту молодого ученого».

Список литературы

1. **Титов В. М., Швецов Г. А.** Лабораторные методы высокоскоростного метания твердых тел взрывом // ФГВ. 1970. Т. 6, № 3. С. 401–404.
2. **Седых В. С., Дерibas А. А., Биченков Е. И., Тришин Ю. А.** Сварка взрывом // Сварочное производство. 1962. № 5. С. 3.
3. **Ханов А. М., Яковлев И. В.** Экспериментальное исследование параметров процесса сварки взрывом волокнистых композиционных материалов // ФГВ. 1982. Т. 18, № 2. С. 123–126.
4. **Гавриленко Т. П., Николаев Ю. А., Прохоров Е. С., Ульяницкий В. Ю.** О механизмах образования покрытий при газотермическом напылении // ФГВ. 1990. Т. 26. № 2. С. 110–123.
5. **Войцеховский Б. В.** О спиновой детонации // ДАН СССР. 1957. Т. 114. № 4. С. 717–720.

6. **Войцеховский Б. В., Котов Б. Е., Митрофанов В. В., Топчян М. Е.** Оптические исследования поперечных детонационных волн // Изв. СО РАН СССР. Серия технических наук. 1958. № 9. С. 44.
7. **Солоухин Р. И., Топчян М. Е.** Исследование шлейфа спиновой детонации // ДАН СССР. 1959. Т. 127. № 4. С. 602.
8. **Войцеховский Б. В., Войцеховский Б. Б.** Природа шаровой молнии // ДАН СССР. 1974. Т. 218. № 1. С. 77–80.
9. **Войцеховский Б. В., Войцеховский Б. Б.** Свечение в потоке заряженных капель // Письма в ЖЭТФ. 1976. Т. 23. № 1. С. 37–39.
10. **Лямкин А. И., Петров Е. А., Ершов А. П., Сакович Г. В., Ставер А. М., Титов В. М.** Получение алмазов из взрывчатых веществ // ДАН СССР. 1988. Т. 302. № 3. С. 611–613.
11. **Зубков П. И., Лукьянчиков Л. А.** Выключение сильноточных цепей с помощью взрывчатых веществ // ФГВ. 1973. Т. 9. № 3. С. 453–455.
12. **Зубков П. И., Лукьянчиков Л. А., Тен К.** О гашении электрической дуги с помощью взрывчатых веществ // ПМТФ. 1978. Т. 19. № 4. С. 40–46.
13. **Биченков Е. И., Полюдов В. В., Рабинович Р., Титов В. М.** Импульсный аппарат жесткого рентгеновского излучения // Приборы и техника эксперимента. 1974. № 3. С. 208.
14. **Алтухов А. А., Биченков Е. И., Гусев Е. А., Пальчиков Е. И., Овсянников В. Л.** Сильноточный импульсный рентгеновский аппарат для динамической радиографии // Приборы и техника эксперимента. 1986. № 1. С. 189.
15. **Пинаков В. И., Рычков В. Н., Топчян М. Е.** Возможности моделирования гиперзвуковых потоков на газодинамических установках адиабатического сжатия с высоким давлением // ПМТФ. 1982. Т. 23. № 1. С. 63–69.
16. **Быковский Ф. А., Митрофанов В. В.** Детонационное сжигание газовой смеси в цилиндрической камере // ФГВ. 1980. Т. 16. № 5. С. 107–117.
17. **Васильев А. А., Митрофанов В. В., Топчян М. Е.** Детонационные волны в газах // ФГВ. 1987. Т. 23. № 5. С. 109–131.
18. **Войцеховский Б. В., Истомин В. Л., Митрофанов В. В.** Использование импульсных высокоскоростных плоских струй жидкости для измельчения отработавших сборок ТВЭЛов АЭС // Атомная энергия. 1994. Т. 68. № 6. С. 443.
19. **Биченков Е. И., Швецов Г. А.** Мегагауссные магнитные поля. Физика. Техника. Применения // ПМТФ. 1997. Т. 38. № 4. С. 90–102.
20. **Фёдоров С. В., Бабкин А. В., Ладов С. В., Швецов Г. А., Матросов А. Д.** О возможностях управления кумулятивным эффектом взрыва с помощью электромагнитных воздействий // ФГВ. 2000. Т. 36. № 6. С. 126–145.
21. **Ахметов Д. Г., Луговцов Б. А., Тарасов В. Ф.** Тушение пожаров на газонефтяных скважинах с помощью вихревых колец // ФГВ. 1980. Т. 16. № 5. С. 8–14.
22. **Войцеховский Б. В., Истомин В. Л.** Динамическая антикумулятивная защита // ФГВ. 2000. Т. 36. № 6. С. 87–90.

Сведения об авторах

Пальчиков Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики сплошных сред, Новосибирский государственный университет (Новосибирск, Россия), Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева (Новосибирск, Россия)

Котельникова Мария Станиславовна, кандидат физико-математических наук, доцент, Новосибирский государственный университет (Новосибирск, Россия), Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева (Новосибирск, Россия)

Information about the Authors

Evgeniy I. Palchikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Continuum Physics, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

Maria S. Kotelnikova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation), Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

*Статья поступила в редакцию 19.01.2021;
одобрена после рецензирования 26.05.2022; принята к публикации 22.06.2022
The article was submitted 19.01.2021;
approved after reviewing 26.05.2022; accepted for publication 22.06.2022*