

СТАНИСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ КОГАРКО — ЖИЗНЬ, ПОСВЯЩЕННАЯ НАУКЕ



(1906–2007)

В марте 2020 г. исполнилось 114 лет со дня рождения крупного советского ученого С. М. Когарко. Станислав Михайлович родился 30 марта 1906 г. в Санкт-Петербурге в царской России. Когда ему было 7 лет, началась Первая мировая война, в 1917 г. произошла революция, затем гражданская война, годы разрухи, индустриализации и тяжелого упорного труда. В 1941 г. началась Великая Отечественная война, и снова тяжелые условия жизни. Станислав Михайлович прожил долгую, трудную жизнь и умер в 2007 г. уже в новом государстве — Российской Федерации — в возрасте 101 года. В СССР он прожил 76 лет с первого и до последнего дня существования государства.

Станислав Михайлович учился, работал инженером, научным сотрудником, защитил кандидатскую и докторскую диссертации, стал известным ученым и создавал науку в СССР. В 1928 г. он поступил в Санкт-Петербургский университет, но на третьем курсе его вместе с другими однокурсни-

ками перевели в Ленинградский химико-технологический институт (ЛХТИ), который он окончил в 1932 г. Его распределили в открывшийся годом ранее Институт химической физики (ИХФ), основателем и директором которого был Николай Николаевич Семёнов — будущий первый в СССР лауреат Нобелевской премии. В 1925–1932 гг. Николай Николаевич опубликовал свои основополагающие работы, определившие развитие новой науки — химической физики. Коллектив созданного Института состоял из молодых ученых, имена которых вскоре стали известны не только в СССР, но и во всем научном мире: В. Н. Кондратьев, Ю. Б. Харитон, Я. Б. Зельдович и др.

Выпускник ЛХТИ С. М. Когарко начал свою научную деятельность в самом начале создания новой науки «химическая физика» в молодом научном коллективе. Поступив на работу в Ленинградский ИХФ, Станислав Михайлович оказался среди первых сотрудников Института, в котором он прора-

ботал 70 лет — больше, чем создатель и первый директор Института Н. Н. Семёнов.

Перед молодым коллективом ИХФ стояли важные научные задачи: исследования физико-химических процессов в химических реагирующих системах, в которых проходят цепные реакции, открытые Н. Н. Семёновым. Это процессы горения и взрыва, широко используемые в двигателестроении, энергетике и оборонных задачах. Такая тесная связь научных исследований с практически проблемами промышленности и обороны с момента создания ИХФ, заданная Н. Н. Семёновым, всегда отличала и научные интересы С. М. Когарко. Свою научную деятельность Станислав Михайлович начал в коллективе лаборатории А. В. Загулина, в которой занимался изучением влияния различных добавок на горение топлив и возникновением детонации в двигателях. Он участвовал в создании двигателей на жидком кислороде по замкнутому циклу для работы в условиях отсутствия воздуха.

Вспоминаю его рассказ об испытании на полигоне такого двигателя, установленного на тракторе в 1937 г.: «Ему надо было самому на месте водителя завести двигатель и проехать определенное расстояние, чтобы продемонстрировать и доказать работоспособность двигателя. Топливные смеси с жидким кислородом оказались чрезвычайно реакционно-способными и чувствительными к любым возмущениям. Конструкция двигателя не была отработана. Установки на стендах часто взрывались. Испытания двигателя в условиях полигона представляло опасность для водителя. Он понимал всю опасность такого испытания. Но сел за пульт управления и проехал всю дистанцию. Время было такое, что приходилось идти на риск при решении технической задачи».

В 1939 г. С. М. Когарко защитил кандидатскую диссертацию, после чего начал заниматься изучением кинетики окисления топлив в камерах сгорания двигателей в лаборатории А. С. Соколова.

Во время Великой Отечественной войны Институт химической физики переезжает из Ленинграда в Казань. Жить и работать приходится в малоприспособленных для работы и жизни помещениях (кельях) монастыря. Не было ни водопровода, ни канализации, ни отопления. Но научные исследования продолжались. С. М. Когарко занимался разработкой форкамерных двигателей для авиации и танков, а также исследовал горение порохов для реактивных снарядов. Исследования во время войны требовали полного напряжения сил. Но случались и веселые моменты. Станислав Михайлович вспоминал, как зимой на улице при переносе большой бутылки спирта со склада в лабораторию она разбилась к всеобщему огорчению. Но В. К. Бо-



1950-е гг.

блев собрал лопатой снег и снова перегнал спирт. Этот случай часто вспоминали.

К моменту окончания войны надо было возвращаться в Ленинград. Но в разрушенном городе не было свободных помещений. Помогло начало работ над Атомным проектом. Выяснилось, что для создания атомной бомбы нужны ученые из ИХФ АН СССР. Сразу было найдено помещение для Института в Москве на Воробьевском шоссе, куда и переехал из Казани Институт.

С. М. Когарко начал работать над своей докторской диссертацией после переезда ИХФ АН СССР в Москву. В это время он трудится под руководством Я. Б. Зельдовича, недавно создавшего новую теорию детонации. Первая публикация по этой теории появилась в 1940 г. [1]. В 1944 г. была опубликована монография докторской диссертации Я. Б. Зельдовича [2]. Однако экспериментального подтверждения правильности разработанной теории не было.

По-видимому, Яков Борисович Зельдович предложил С. М. Когарко провести экспериментальное исследование детонации газов и подтвердить правильность новой теории детонации. В том числе и поэтому в заключении диссертации С. М. Когарко «выражает благодарность Я. Б. Зельдовичу, обратившему его внимание на область газовой детонации и принимавшему участие в дискуссиях в период выполнения работы, и академику Н. Н. Семёнову за неизменный интерес к работе и предоставление возможности проведения этого исследования».



1960-е гг.

Станислав Михайлович отмечал во введении своей диссертации, что все еще существуют утверждения о том, что в детонационной волне нет области, в которой давление превышает давление в точке Чепмена–Жуге $P = P_{CJ}$. Эти утверждения ставили под сомнение вывод теории Зельдовича о том, что давление в лидирующей ударной волне примерно в два раза выше давления в точке Чепмена–Жуге. Например, такого же мнения придерживался А. С. Соколик [3], который в дискуссиях и выступлениях отстаивал эту точку зрения. Требовалось экспериментальное подтверждение обоснованности выводов новой теории детонации.

Экспериментальное обнаружение зоны повышенного давления в детонационной волне по сравнению с давлением в точке Чепмена–Жуге было чрезвычайно трудной задачей даже для детонации газов из-за кратковременности существования этой области и отсутствия аппаратуры и детекторов с высоким временным разрешением, необходимым для регистрации давления в зоне химических реакций детонации.

В своей докторской диссертации «Экспериментальное исследование детонации газов» Станислав Михайлович подробно анализирует и показывает возможность измерения давления ударной волны существующими в то время достаточно грубыми экспериментальными методами (крешерными столбиками и методом «отлетающих стержней» Гопкинсона). Поэтому для повышения протяженности зоны химических реакций детонационной волны исследовались предельные по составу смеси. В таких смесях время существования высокого давления в волне детонации было больше, чем в стехиометрических смесях. Это позволяло измерять давление отражения детонационной волны по обжатию медного конуса в крешерном приборе, а в топливокислородных смесях — методом Гопкинсона. Так, при детонации водородно-воздушной смеси, содержащей 15% H_2 , значение давления отражения, рассчитанное по теории Чепмена–Жуге, равно $25,4 \text{ кг/см}^2$, измеренная максимальная величина значения давления отражения составила $82,3 \text{ кг/см}^2$. Показано, что давления отражения при детонации предельных топливовоздушных и топливокислородных смесей, измеренные методами обжата конических медных столбиков и Гопкинсона, значительно превышают величины давления отражения, рассчитываемые по классической теории детонации с учетом отражения. Таким образом, впервые было экспериментально дока-



Апин А. Я., Когарко С. М. и Похил П. Ф. 1966 г.



1970-е гг.

зано существование в детонационной волне зоны реакции с повышенным давлением по сравнению с давлением в точке Чепмена–Жуге [4].

Впервые было обнаружено явление расширения пределов детонации топливовоздушных смесей при увеличении диаметра трубы.

Эксперименты проводились на трубах большого диаметра 305 мм длиной 11,5 и 18,3 м для того, чтобы снизить теплотери в стенку и потери на трение на стенках трубы по сравнению тонкими трубками, применяемыми в лабораторных условиях.

Наблюдаемое в опытах существенное расширение пределов детонации в смесях водорода, бензина и бензола и детонация метановоздушных смесей в трубе с внутренним диаметром 305 мм объяснялось соотношением теплотери и теплоприхода из зоны химических реакций. В трубах большого диаметра оказывается возможным распространение стационарной детонационной волны в смесях с большим временем химических реакций, обычно недетонирующих в лабораторных условиях.

Так, метановоздушные смеси, не детонирующие в лабораторных условиях в трубах малого диаметра (~ 20 мм), становятся способными к детонации в трубе диаметром 305 мм. В трубе большого диаметра нижний предел метановоздушной смеси составил 6,3%, а верхний предел — 13,5%.

Теоретический расчет сферической детонационной волны был выполнен Я. Б. Зельдовичем [2] в 1944 г. В своей диссертации Станислав Михай-

лович пишет: «Нам неизвестно ни одной опубликованной экспериментальной работы, в которой была показана возможность распространения сферической детонационной волны в больших объемах газообразной взрывчатой смеси». Иост в своей книге «Взрыв и процессы сгорания в газах» делает вывод [5]: «Так как детонационная волна разрушается, когда она переходит из более узкой трубки, то распространение детонационной волны в открытом пространстве невозможно».

Явление сферической детонации газообразных взрывчатых смесей экспериментально впервые было открыто в ИХФ АН СССР в 1949 г. в лаборатории горения. Были определены критические условия перехода детонации из трубки постоянного диаметра в объем в смесях кислорода с изобутиленом, этиленом, этиловым эфиром, ацетоном, бензолом и водородом. Для всех исследованных смесей были определены минимальные диаметры трубок, при которых плоская детонационная волна в трубке способна еще инициировать в объеме смеси сферическую детонационную волну, распространяющуюся по всему объему смеси с постоянной детонационной скоростью.

Так, если для инициирования сферической детонации ацетиленокислородной смеси достаточно плоской детонационной волны, выходящей в объем смеси из трубки внутреннего диаметра 2,5 мм, то в смеси $\text{C}_2\text{H}_2 + 2\text{O}_2$ сферическую детонацию можно инициировать только плоской детонационной волной из трубки 32 мм.

Развитие реактивных двигателей вызвало появление многочисленных схем пульсирующих двигателей. Возник вопрос о применении в них детонационного горения. Вследствие этого расчетное и экспериментальное определение принципиально достижимых оптимальных характеристик детонационного цикла приобрело большой интерес. Особенно важны стали принципиально достижимые величины удельной тяги, которые могут быть получены в реактивном двигателе при детонационном сгорании топливовоздушных смесей. В работе Я. Б. Зельдовича [6] теоретически была показана принципиальная возможность повышения коэффициента полезного действия (КПД) двигателя на детонационном сгорании. Станислав Михайлович ничего не пишет и не ссылается в диссертации на эту публикацию. В то же время, работая заместителем Якова Борисовича в отделе, он не мог не знать о ней. Поэтому С. М. Когарко в диссертации ставит задачу экспериментального определения «принципиально достижимых величинах удельной тяги, которые могут быть получены в реактивном двигателе при детонационном сгорании топливовоздушных смесей».

Установка состояла из металлической трубы диаметром 305 мм, длиной 10,94 м или 18,4 м, закрытой с одного конца металлическим фланцем, а с другой стороны тонкой бумагой. Трубы подвешивались на металлической ферме. Вес трубы длиной 11 м — 1028 кг, 18,4 м — 1600 кг. Экспериментально измерялись единичные импульсы при детонации топливовоздушных смесей (водород, авиационный бензин, бензол и серный эфир) в широком диапазоне концентрации топлива в воздухе. Единичные импульсы топлив определялись, «имея в виду применение детонационного цикла к пульсирующему двигателю». Станислав Михайлович предлагал использовать разрежение, создаваемое в трубе потоком истекающих продуктов детонации, для продувки трубы и наполнения ее свежей смесью через клапан в торце трубы, который открывается при снижении давления ниже атмосферного. Был определен эффективный КПД истечения продуктов детонации, равный отношению измеренного экспериментального единичного импульса к его расчетному значению.

Было проведено около 150 опытов на крупногабаритных установках. Больше, чем для других исследований в диссертации вместе взятых. Следовательно, экспериментальным измерением единичных импульсов топливовоздушных смесей уделялось особое значение. Можно заключить, что Станислав Михайлович был первым в мире ученым, который пытался экспериментально создать детонационный двигатель, основываясь на идее Я. Б. Зельдовича.

На основании измерений импульсов детонационных волн показано, что в топливовоздушных смесях в широком интервале изменения концентраций топлива в воздухе возможно стационарное распространение детонации с полным использованием химической энергии смеси. Расчетные значения единичных импульсов топлив, полученные из решения задачи об истечении продуктов детонации методом характеристик, согласуются с экспериментально определенными величинами.

Впервые экспериментально было открыто явление образования высокого давления в торце трубы в результате самовоспламенения смеси при отражении ударной волны, генерируемой нестационарным распространением пламени. При быстром (недетонационном) горении смеси, могут реализовываться условия, когда амплитуда ударной волны, распространяющейся впереди фронта пламени, недостаточна, чтобы вызвать воспламенение сжатой ударной волной смеси. Тогда воспламенение происходит при отражении ударной волны от торца трубы. При отражении ударной волны значительно возрастают температура и давление смеси. В этом



1980-е гг.

случае самовоспламенения смеси происходит при повышенном начальном давлении. По этой причине в торце трубы может развиваться чрезвычайно высокое давление отражения. Так, при быстром горении смеси из 4% C_3H_8 и 96% воздуха в торце трубы развивается высокое давление 464 атм, сопровождающееся разрушением прочной трубы, толщина стенок которой была равна 10 мм. Эти экспериментальные данные показывают важность подобных процессов для выработки рекомендаций по технике безопасности на взрывоопасных производствах.

В ходе исследований Станислав Михайлович привлекал химическую кинетику для объяснения физики исследуемых процессов. Так, им была установлена связь масштаба инициирования с шириной зоны химических реакций детонационной волны.

В диссертации С. М. Когарко получил принципиально новые экспериментальные результаты. Выводы почти к каждой главе его диссертации начинаются словами: «Впервые экспериментально показано...» Им открыты новые физические явления: сферическая детонация, расширение пределов детонации, экспериментально обнаружена область высокого давления (ударно-волновое сжатие) в детонационной волне, что позволило обосновать структуру детонационной волны, которая сейчас общепринята в научном мире.

Сложно даже представить, сколько простого физического труда было затрачено для проведе-



1990-е гг.

ния 265 опытов на крупногабаритных установках с многометровыми трубами диаметром 305 мм на открытом воздухе; сколько требовалось баллонов с газом, компрессоров, самодельных аппаратов фоторазвертки для измерения скоростей детонации и т. п.

Исследования С. М. Когарко широко известны в научном мире. Его статьи цитировались в научных журналах многих стран, и на них до сих пор ссылаются как на основополагающие работы в области горения и детонации газов.

После защиты докторской диссертации Станислав Михайлович становится ведущим специалистом в области горения и взрыва газовых и гетерогенных систем.

С. М. Когарко участвовал в ядерных испытаниях в Арктике. В период 1955–1961 гг. было проведено восемь высотных ядерных взрывов с тротильным эквивалентом 12–300 кг на высотах 10–300 км [7]. Участие принимали С. М. Когарко, А. С. Дубовик, В. В. Адушкин и др. С. М. Когарко был одним из научных руководителей испытаний при высотных ядерных взрывах, направленных на определение поражающих факторов светового излучения.

В 1950-е гг. под руководством Станислава Михайловича был выполнен цикл исследований полей давлений от детонации сферических объемов топливокислородных смесей, разбавленных азотом,

и топливовоздушных смесей [8]. В качестве топлива изучались пропан, метан и ацетилен. Опыты выполнялись с резиновыми оболочками диаметром от 0,7 до 3 м. Объемы смесей составляли от 0,15 до 15 м³. Определены зависимости максимального давления и импульса сферических ударных волн, генерируемых взрывом топливовоздушных смесей в воздухе, от расстояния. Позже были исследованы поля давлений и импульсов ударных волн, генерируемых горением в окружающем воздушном пространстве. Такие исследования представляют большой практический интерес для промышленной безопасности, так как позволяют предложить научно обоснованные рекомендации для предотвращения аварий.

Очень важный цикл исследований с точки зрения предотвращения техногенных аварий в трубопроводах с ацетиленом и его смесей с воздухом был выполнен под руководством С. М. Когарко [9]. Было показано отсутствие верхнего концентрационного предела распространения пламени в чистом ацетилене вплоть до начального давления 0,65 атм. Переход горения в детонацию в чистом ацетилене при слабом источнике инициирования осуществляется так же легко, как и в топливокислородных смесях. В результате пришлось внести соответствующие изменения в справочники и применять новые повышенные меры безопасности на производствах.

Станислав Михайлович отмечал в своей диссертации, что на основании установленного экспериментального факта — расширения пределов детонации при увеличении диаметра трубы — можно сделать предположение, что в подземных галереях и тоннелях с большими диаметрами будет возможна детонация смесей с еще большим временем химических реакций в смесях и с еще более широкими пределами, чем найденные в трубах. Не исключена возможность детонации метанопылевоздушных смесей и пылевоздушных смесей.

Поэтому не случайно, что позже, в 1960–1970-е гг., под его руководством были выполнены исследования по детонации гетерогенных смесей.

Проблемы взаимодействия ударных и детонационных волн с распылами и взвесями капель и слоев горючего стали особенно актуальными для промышленной безопасности при транспортировке взрывчатых составов, воздуха, жидкостей и газов по трубопроводам. В [10] исследовалась неустойчивость поверхности жидкости при скольжении по ней ударной волны. Экспериментально показана возможность воспламенения смеси кислорода с взвесью микрокапель, образующихся в результате разрушения слоя жидкого керосина в ударной волне с некоторой пороговой интенсивностью.

Дробление капель в потоке газа за падающими



С. М. Когарко принимает поздравления со 100-летним юбилеем

ударными волнами инициирует самовоспламенение распылов жидких топлив в отраженных ударных волнах. При этом наблюдалось значительное усиление отраженных ударных волн [11].

Также Станислава Михайловича интересовал вопрос усиления ударных волн в зоне горения газовой смеси. При прохождении ударной волны через фронт пламени скорость химических реакций в зоне горения возрастает из-за повышения температуры. Это ведет к ускорению фронта пламени и последующему усилению ударной волны [12]. Такие опыты позволяли разработать меры для повышения стабильности горения в ракетных двигателях.

Все исследования С. М. Когарко имеют практическую направленность. Им были решены проблемы взрывобезопасности на ряде производств, предложены технические решения в области техники безопасности при транспортировке ацетилена, взрывобезопасности метана в каменноугольных шахтах при переходе горения в детонацию в топливокислородных смесях при высоких давлениях, при самовоспламенении гомогенных и гетерогенных смесей, при подводном взрыве газовых смесей и др. Станислав Михайлович вместе с сотрудниками изучал проблему водородной взрывобезопасности, горения и детонации смесей с водяным паром применительно к взрывобезопасности ядерных реакторов.

С. М. Когарко разрабатывал способы технологического использования энергии газовых смесей. Он — автор многих изобретений. Им предложены методы штамповки газовым взрывом, удаления заусенцев на поверхностях чугунных отливок. Бы-

ло предложено техническое решение, повышающее безопасность работы с образующимися водородно-воздушными смесями при выплавке титана.

С. М. Когарко имеет много учеников, среди которых кандидаты и доктора наук. Многие из них стали известными учеными.

В 1958 г. С. М. Когарко становится заведующим кафедрой физики быстропротекающих процессов Московского инженерно-физического института (МИФИ). Эта кафедра была создана Н. Н. Семёновым в 1953 г. Николай Николаевич пригласил для работы на кафедре ведущих сотрудников ИХФ СССР. На кафедре работали Я. Б. Зельдович, А. Ф. Беляев, В. Н. Кондратьев, В. И. Гольданский, Г. Л. Шнирман, С. М. Когарко и др. Кафедра готовила специалистов по химической физике (газодинамика, горение, детонация, химическая кинетика) в основном для предприятий Минсредмаша СССР. Станислав Михайлович читал курс лекций «Горение и детонация газов». На экзамене он требовал понимания физики процессов, и не все студенты могли сдать ему экзамен с первого раза.

Под руководством С. М. Когарко разработаны программы учебных дисциплин, которые проводились на старших курсах в ИХФ АН СССР на Воробьевых горах: лекции, семинары и объемный специальный практикум по химической физике в научных лабораториях этого института, преддипломная практика и дипломное проектирование.

Выпускникам запомнились лекции профессора Александра Федоровича Беляева, которого специалисты называли теоретиком эксперимента; замечательные лекции Г. Л. Шнирмана по методам

регистрации быстропротекающих процессов; лекции С. С. Новикова по общей и специальной органической химии и лабораторные работы по этим разделам химии.

С. М. Когарко был заведующим кафедрой 30 лет. За это время кафедра выпустила свыше 500 специалистов по физике быстропротекающих процессов. В то время студенческие группы были большими — до 30 чел.

Эти выпускники стали сотрудниками отделов РФЯЦ ВНИИЭФ и РФЯЦ ВНИИТФ. Они успешно работали, и их усилиями созданы новые современные образцы и налажен серийный выпуск техники для ядерного оборонного комплекса.

В 1950-х гг. Станислав Михайлович работал заместителем директора ИХФ АН СССР. Он возглавлял Секцию техники безопасности и экологии в Научном совете по горению АН СССР (Руководитель Совета — академик Я. Б. Зельдович). Станислав Михайлович являлся высококвалифицированным экспертом по вопросам взрывобезопасности производств и оценке последствий возможных взрывов топливовоздушных смесей, включая ацетилен и метан. Он неоднократно привлекался в качестве эксперта к расследованию причин техногенных аварий.

Государство высоко оценило труд и большой вклад в науку Станислава Михайловича. В 2002 г. С. М. Когарко получил Государственную премию за цикл работ «Инициирование и распространение волн детонации в открытом пространстве» в составе коллектива авторов (В. В. Марков, Г. Г. Черный, В. А. Левин, А. А. Борисов, С. М. Когарко, В. П. Коробейников, В. В. Митрофанов, А. А. Васильев). Вклад С. М. Когарко в исследования процессов горения и детонации высоко оценен правительством. Он награжден орденами Трудового Красного Знамени, Красной Звезды, Знак Почета и медалями.

Коллективы Института химической физики РАН и НИЯУ МИФИ помнят и чтят память Станислава Михайловича Когарко, выдающегося советского ученого.

Литература

1. Зельдович Я. Б. К теории распространения детонации в газообразных системах // ЖЭТФ, 1940. Т. 10. С. 542–568.
2. Зельдович Я. Б. Теория горения и детонации газов. — М.: Изд-во АН СССР, 1944. 71 с.
3. Соколик А. С. Самовоспламенение пламя и детонация в газах. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. 428 с.
4. Когарко С. М., Зельдович Я. Б. О детонации газовых смесей // Докл. Акад. наук, 1948. Т. 63. № 5. С. 553–556.
5. Иост В. Взрыв и процессы сгорания в газах / Пер. с нем. — М.: Мир, 1962. 687 с. (*Jost W. Explosions- und Verbrennungsvorgänge in Gasen.* — Berlin—Heidelberg: Springer. 616 p.)
6. Зельдович Я. Б. Об энергетическом использовании детонационного горения // ЖЭТФ, 1940. Т. 10. С. 1458–1461.
7. Адушкин В. В., Гарнов В. В. Участие Спецсектора ИХФ АН СССР в создании ядерного оружия и проведении его испытаний (1946–1963 годы) // Ядерные испытания в Арктике. Т. 2. Арктический ядерный полигон / Под ред. В. Н. Михайлова. — М.: Московские учебники, 2006. С. 237–245.
8. Когарко С. М., Адушкин В. В., Лямин А. Г. Исследование сферической детонации газовых смесей // Физика горения и взрыва, 1965. № 2. С. 22–34.
9. Когарко С. М., Иванов Б. А., Грунин А. Е. Концентрационные пределы распространения пламени в смеси ацетилена с воздухом // Докл. Акад. наук, 1962. Т. 145. № 6. С. 1308–1310.
10. Борисов А. А., Когарко С. М., Любимов А. В. О неустойчивости поверхности жидкости при скольжении по ней детонационных и ударных волн // Докл. Акад. наук, 1965. Т. 164. № 1. С. 125–126.
11. Борисов А. А., Гельфанд Б. Е., Губин С. А., Когарко С. М., Поддеребенков А. Л. Усиление слабых ударных волн в горящей двухфазной системе жидкость—газ // ПМТФ, 1970. № 1. С. 168–173.
12. Когарко С. М., Скобелкин В. И., Казаков А. Н. Взаимодействие ударных волн с фронтом пламени // Докл. Акад. наук, 1958. Т. 122. № 6. С. 1046–1048.

С. А. Губин

д.ф.-м.н., профессор

Заведующий кафедрой № 4 «Химическая физика»

НИЯУ МИФИ