

СТАНОВЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИИ ХИМИИ УДАРНЫХ ВОЛН ВО ВНИИФТРИ ПОД РУКОВОДСТВОМ С.С. БАЦАНОВА

(к девяностолетию со дня рождения д.х.н., д.ф.-м.н.,
профессора Бацанова Степана Сергеевича)

С.М. Гаврилкин

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.
gavrilkin@vniiftri.ru*



С.С. Бацанов всемирно признанный специалист в области физики взрыва, кристаллохимии, молекулярной оптики, теории химической связи, создатель научного направления и Школы химии ударных волн в ВНИИФТРИ. Член Американского физического общества, Американского общества инженеров-механиков, визит-профессор Калифорнийского университета в США и Дэрэмского университета в Великобритании. Получил премию Капицы Английского Королевского общества, награждён орденом «Знак Почёта», медалью

22-й Всемирной выставки-конкурса изобретений и открытий в Женеве.

После окончания МГУ в 1951 г. его становление как учёного проходило под руководством таких научных учителей, как Г.Б. Бокий — первый заведующий кафедрой кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета МГУ и Н.В. Белов — создатель школы отечественной структурной кристаллографии. За разработку кристаллооптического метода строения комплексных соединений «Рефрактометрический метод определения комплексных соединений» в 1954 г. Г.Б. Бокию совместно с С.С. Бацановым была присуждена премия Президиума АН СССР.

С 1958 по 1970 г. С.С. Бацанов работал в Сибирском отделении АН СССР сначала заведующим лабораторией Института неорганической химии (ИНХ), затем заместителем директора Института теплофизики.

В 1962 г. лабораторией С.С. Бацанова в ИНХ были начаты систематические исследования воздействия ударного сжатия на вещество в «ампулах сохранения» — системах сохранения продуктов ударно-волнового сжатия. В результате было обнаружено образование атомных и электронных дефектов при прохождении ударных волн в веществе и новые химические пре-

вращения. Полученные результаты были представлены на сессии Отделения физико-технических проблем энергетики АН СССР в марте 1966 г. Новое направление науки, возникшее на стыке физики и химии при исследовании взрывных процессов, участники Сессии определили как «химия ударных волн» (“shock chemistry”). Термин «химия ударных волн» означает изучение поведения реагирующих или инертных конденсированных систем при ударно-волновом воздействии и их сохранение с последующим изучением физико-химических свойств обычными методами.

Становление и развитие нового направления и школы химии ударных волн во ВНИИФТРИ проходило под руководством С.С. Бацанова. В 1970 г. во ВНИИФТРИ по инициативе С.А. Христиановича была организована Лаборатория высоких динамических давлений (ЛВДД). Начальником лаборатории был назначен С.С. Бацанов, приехавший из Новосибирского академгородка. Первыми сотрудниками лаборатории стали физики и химики Г.С. Доронин, А.И. Лапшин и Е.Д. Ручкин, приехавшие из Новосибирска по приглашению С.С. Бацанова.

Благодаря энергии и организаторским способностям Степана Сергеевича лаборатория была быстро оснащена необходимым для исследований оборудованием. Академик Г.К. Боресков передал ВНИИФТРИ комплекс научно-исследовательского оборудования, а благодаря адмиралу Б.А. Киясову в макетной мастерской лаборатории появился станочный парк и на Ижорском заводе были заказаны взрывные камеры. Для проведения экспериментов с использованием взрывчатых материалов на территории ВНИИФТРИ был построен корпус «Д». В строительстве принимали участие все сотрудники лаборатории. До 1973 г. проведением экспериментов со взрывами занимался только С.С. Бацанов. Начиная с 1973 г., после получения установки взрывных камер, по 2008 г. — год окончания действия лицензии на работы со взрывчатыми веществами (ВВ), эксперименты проводили сотрудники лаборатории, допущенные к таким работам. Это А.И. Мартынов, И.Н. Темницкий, С.Л. Фомин, А.С. Шмаков, Д.Л. Гурьев и С.М. Гаврилкин. Основные исследования веществ после ударно-волнового воздействия проводили А.И. Лапшин, Л.И. Копанева, В.П. Бокарев, К.А. Тлеулиева, Е.В. Лазарева и Е. Сейко. Важную роль в изготовлении и испытании ампул сохранения и оснастки для проведения экспериментов сыграли В.П. Сёмин, Г.Г. Долгушин, В.А. Туманов, В.К. Коробов и В.В. Куманин. В 1980 г. ВНИИФТРИ получил разрешение не только на работы, но и на хранение ВВ. Таким образом, с 1980 г. во ВНИИФТРИ имеется полностью автономный уникальный комплекс для осуществления всех видов работ в области физики и техники взрыва.

При любых структурных изменениях и переименованиях лаборатории, в отдел, центр и т.д., Степан Сергеевич оставался неизменным руководите-

лем этого направления. За почти пятьдесят лет работы во ВНИИФТРИ под руководством С.С. Бацанова были выполнены многочисленные исследования, входящие в область химии ударных волн. Ввиду обширности исследований, выполненных за несколько десятилетий, здесь приведены результаты только основных работ по химии ударных волн.

Получение новой фазы нитрида бора

Ещё в 1965 г. в первых экспериментах по взрывному сжатию гексагональной фазы нитрида бора (BN) с повышенной концентрацией дефектов было обнаружено образование в небольших количествах новой фазы с уникальными свойствами. Новая фаза получила название е-фазы (от слова «explosion» — взрыв) [1]. В последующем эту фазу получали разными методами — от динамических до гидростатических, её свойства хорошо изучены и обобщены в [2], но и в настоящее время очень многие исследователи ведут работы по получению и изучению свойств этого материала [3, 4]. Параметры элементарной ячейки е-фазы близки к параметрам фуллерена. В предположении, что это аналог фуллерена украинские учёные создали структурную модель е-фазы [5]. Фуллерен из нитрида бора, полученный с помощью взрыва, был открыт за 20 лет до открытия углеродного фуллерена, за открытие которого присуждена Нобелевская премия.

Создание нового метода — динамико-статического сжатия вещества (ДСС)

В 1990 г. задача по фазовому переходу в ударной волне гексагональной структуры нитрида бора в вюрцитную ($h\text{-BN} \rightarrow w\text{-BN}$), решаемая С.С. Бацановым начиная 1968 г., получила своё окончательное решение. В ранних экспериментах было установлено, что такой переход возможен, если исходная структура нитрида бора обладает высокой кристалличностью, т.е. плотность исходного образца приближается к плотности монокристалла $\sim 2.2 \text{ г/см}^3$. Технологически это условие обеспечивалось отжигом исходного нитрида бора при 2000°C [6]. Однако выход вюрцитной фазы при ударном сжатии даже высококристаллического исходного материала был очень мал. Высокая остаточная температура вещества после прохождения ударной волны приводила к обратному фазовому переходу. Поэтому наиболее важным достижением лаборатории в области химии ударных волн и физики взрыва является создание нового метода — динамико-статического сжатия вещества (ДСС), в котором высокое динамическое давление переходит в статическое давление за ударной волной [7].

Специальная ампула сохранения, разработанная для метода ДСС, содержала спрессованный порошок KBr, в котором при прохождении ударной

волны происходит фазовый переход с уменьшением объёма при давлении 20 кбар. Это вещество претерпевает обратный фазовый переход после прохождения ударной волны с увеличением объёма, поэтому внутри ампулы создаётся остаточное напряжение с давлением около 20 кбар [8].

Оптимизация метода ДСС потребовала огромного количества экспериментов и времени для решения конструкционных и технологических задач: формы ампулы, состава металла оболочки, толщины стенок и условия их термической обработки и т.д. Данные по использованию метода ДСС для фазового перехода графит → алмаз (на примере нитрида бора со 100 % выходом) и прессования порошков алмаза, вольфрама и др. до монолитного состояния опубликованы в [9, 10]. Метод ДСС имеет большие перспективы в изготовлении конструкционных материалов из наночастиц, т.к. формирование монолитного наноструктурного материала происходит без плавления частиц. Большой вклад в разработку, изготовление и испытания ампул ДСС внесли В.П. Сёмин, Г.Г. Долгушин, В.А. Туманов, В.К. Коробов, В.В. Куманин и С.М. Гаврилкин.

Активация катализаторов под действием ударных волн

Более простые и менее прочные ампулы сохранения, по сравнению с ампулами ДСС, выдерживающие внутреннее давление до 4 кбар, были использованы для ударно-волнового получения твёрдых пен. Для этого в ампулу помещался порошок исследуемого материала (с высокой температурой плавления), перемешанный с небольшим количеством однокомпонентного взрывчатого вещества. Нагружение ампулы осуществлялось ВВ с небольшой скоростью детонации. Прохождение ударной волны внутри ампулы по смеси взрывчатого вещества с исследуемым материалом приводило к детонации порошка ВВ и формированию пенообразного материала [11]. Таким методом были получены твёрдые пены высокотемпературных материалов в широком диапазоне плотностей, что перспективно для промышленного получения катализаторов. Такие катализаторы, с большой активной поверхностью, могут применяться для каталитического дожигания выхлопных газов автомобилей и других аналогичных задач.

Микросекундные химические реакции в ударных волнах и создание модели вынужденной диффузии атомов в смесях твёрдых тел

В 1991 г. С.С. Бацановым была поставлена задача по измерению времени протекания химических реакций в смесях твёрдых веществ в ударной волне. Эксперименты были проведены совместно с лабораторией М.Ф. Гогули из ИХФ РАН [12, 13], в которой была отработана «оконная» методика измерения оптическим пирометром температуры и давления в жидкостях при про-

хождении ударной волны. Эта методика была применена для измерения температуры твёрдых инертных соединений SnS и реагирующих смесей Sn+S в ударной волне. Исследования показали, что твёрдофазное химическое превращение завершается за время, меньшее, чем микросекунда после прохождения ударной волны.

По теории [14] для твёрдофазного синтеза нужно время на несколько порядков больше длительности фазы высокого давления в ударной волне. Для объяснения этого противоречия С.С. Бацанов предложил модель вынужденной диффузии атомов в смеси твёрдых тел, учитывающую различие массовых скоростей компонентов смеси [15, 16]. Эта модель объяснила экспериментально установленные микросекундные времена реакции смесей при большой разнице ударных адиабат компонентов и уменьшение времени реакции до микросекунд и меньше при увеличении давления в ударной волне [17]. При заданных размерах частиц смеси модель позволяет количественно оценить параметры протекания твёрдофазных реакций в ударных волнах [18].

Твёрдофазная детонация

С 2005 по 2008 г. во ВНИИФТРИ проводились исследования твёрдофазной детонации. Это принципиально новое направление в физике взрыва и ударных волн экспериментально стали развивать в ЛВДД по инициативе вице-президента РАН академика В.Е. Фортова, директора ИСМАНа, профессора Ю.А. Гордополова и профессора С.С. Бацанова. Для образования самоподдерживающейся ударной волны, как при разложении, так и при синтезе химических веществ, необходимо, чтобы реакция шла с увеличением объёма. С.С. Бацановым и Д.Л. Гурьевым было экспериментально установлено увеличение скорости ударной волны при синтезе соединений типа $A^{III}B^V$. Было установлено, что синтез ZnTe происходит в ударной волне [19] в предварительно нагретой смеси порошков Zn и Te, а в случае ZnS [20] синтез с увеличением скорости ударной волны идёт и без предварительного нагревания. Это явление было названо твёрдофазной детонацией. Теория явления, предложенная С.С. Бацановым, представлена в работах [21, 22].

Развитие метрологии импульсного давления как необходимой части химии ударных волн

В химии ударных волн важное значение имеют три измеряемые величины — динамическое давление, температура и скорость ударной волны. Наряду с изучением строения вещества большое внимание было уделено метрологии вышеуказанных величин. Результаты исследований в этой области отражены в Трудах ВНИИФТРИ по вопросам метрологии.

С 1992 по 1994 г. сотрудниками лаборатории А.И. Мартыновым, П.В. Пороховым и С.Л. Фоминым разработаны и изготовлены на опытном заводе ВНИИФТРИ две ударные трубы для воспроизведения единицы импульсного давления до 1,6 ГПа, одна из них была аттестована как установка высшей точности УВТ-А-93, а вторая передана в КНДР. Для генерации высоких импульсных давлений в этих трубах использовали ВВ. В настоящее время УВТ-А-93 находится на консервации. С 2015 по 2016 г. сотрудниками лаборатории был разработан и изготовлен рабочий эталон единицы импульсного давления в диапазоне от 0,01 до 1,0 ГПа, работающий без использования ВВ, однако полностью перекрыть рабочий диапазон давлений УВТ не удалось.

Сотрудники лаборатории проделали большую работу и по развитию методов измерения температуры в ударных волнах, начиная с методов измерения остаточной температуры термопарами [23], затем применяя калориметрические методы и сравнение кривых охлаждения ампулы сохранения после прохождения ударной волны [24] и заканчивая оптическими методами с применением высокоскоростных пирометров [12, 13].

Получение новых функциональных наноматериалов

С конца 1990-х годов исследования сотрудников ЛВДД были сосредоточены на детонационном синтезе наноалмазов и изучении их свойств. Эти работы являются естественным продолжением исследований по получению кубической фазы нитрида бора (с-BN) при детонации ВВ с добавкой гексонального нитрида бора (h-BN). В первых экспериментах был получен выход с-BN в следовых количествах. Причиной этого оказался гидролиз BN водой, находящейся в продуктах детонации ВВ. Применение безводородного ВВ — бензотриоксофураксана ($C_6N_6O_6$), не имеющегося в продуктах детонации воды, позволило увеличить выход с-BN до 80 % [25]. Однако содержащаяся в продуктах детонации шихта, состоящая из сажи и наноалмазов, не позволяла проводить исследование полученного материала с помощью ИК-спектроскопии. С.М. Гаврилкиным были разработаны методы постановки взрывных экспериментов, позволившие снизить содержание загрязняющих веществ до долей процента, и одновременно была разработана технология получения УДА с выходом более 75 % от массы шихты.

Размерный эффект в наноматериалах, аномальность электрофизических и биологических свойств водных растворов УДА

С 2008 года, основное научное внимание сотрудников ЛВДД было обращено на изучение свойств коллоидных растворов наноалмазов, синтезированных методом детонации (УДА). Был выполнен большой цикл исследова-

ний электрофизических свойств нанодiamondов, так как в изменении этих свойств размерный эффект проявился наиболее сильно. Было найдено значительное, на много порядков, изменение электрофизических свойств водных растворов с концентрацией УДА меньше 0,1 % [26, 27]. Оказалось, что диэлектрическая проницаемость (ϵ) нанодiamondа зависит от размера частиц, растёт с уменьшением размера частиц, и её значение для УДА на несколько порядков больше, чем у монокристалла [28]. Также было найдено, что в водных растворах УДА стимулируется развитие простейших биологических объектов.

Безводородный нанодiamond

С 2014 г. сотрудники ЛВДД провели ряд исследований по получению новых функциональных наноматериалов для применения в ядерных технологиях — безводородных нанодiamondов (БВН). Эти материалы имеют уникальные свойства из-за состава, геометрии и размера частиц. Диаметр наночастиц алмаза, получаемых из разных ВВ путём детонации, может варьироваться от 2 до 50 нм (размер нанодiamondа, выпускаемого в промышленных количествах, — 4 нм). В научно-исследовательских работах по нейтронной оптике холодных и ультрахолодных нейтронов (УХН) было показано, что нейтроны резонансно взаимодействуют с поверхностью, состоящей из наносфер, диаметр которых сравним с дебройлевской длиной волны нейтрона. От периодической структуры покрытий из чистых нанодiamondов УХН полностью отражаются без поглощения и без изменения энергии. Наличие в составе промышленного нанодiamondа водорода даже в количестве 1 % делает его непригодным для применения в ядерных технологиях, т.к. водород имеет на два порядка большее сечение захвата тепловых нейтронов, чем углерод. В настоящее время БВН считается очень перспективным материалом для применения в ядерных технологиях и нейтронной оптике. Безводородный нанодiamond с размерами частиц от 30 до 40 нм впервые был получен в Новосибирске в Институте гидродинамики из бензотрифуроксана (БТФ), однако всестороннее исследование БВН, полученного этим методом, было проведено под руководством С.С. Бацанова 25 лет спустя [29]. Оказалось, что форма полученных частиц далека от сферичности. В продолжение этой работы в ЛВДД был синтезирован и исследован БВН со средним размером частиц 15–16 нм, имеющих сферическую форму [30]. В настоящее время продолжаются исследования по получению безводородного нанодiamondа с размерами частиц 3–5 нм.

Фиксация азота водными растворами нанодiamondа

С появлением новых функциональных наноматериалов появились новые возможности их применения, в том числе и для фиксации азота. При умень-

шении размеров наночастиц уменьшается энергия, требуемая для распада твёрдого тела на свободные атомы, которые только и могут реагировать. Поэтому химическое взаимодействие азота с углеродом, запрещённое для обычных углеродных материалов, может быть энергетически выгодным для наночастиц углерода.

В результате исследований С.С. Бацанова с сотрудниками по изучению влияния размера кристаллов на их физические и термодинамические свойства [31, 32], выяснилось, что равновесие химической реакции соединения углерода с азотом с образованием циана смещается в сторону уменьшения температуры. Однако порошок наноалмаза при контакте с газообразным азотом в воздушной атмосфере остаётся инертным до очень высоких температур, что связано с особенностью строения поверхностных слоёв наночастиц алмаза. В водных растворах при длительном хранении поверхностный слой взаимодействует с растворёнными в воде газами, при этом происходит образование нитей из наночастиц, в составе которых содержится азот. Содержание азота в разных образцах нитей растёт от 3 до 17 %, а отношение углерода к азоту уменьшается от 21 до 1, тогда как в исходном наноалмазе оно равно 40–42. Особенность получаемых нитей заключается в том, что их химический состав близок к составам грибов и бактерий [33]. Проведённые эксперименты показали, что водный раствор наноалмаза фиксирует атмосферный азот при нормальном давлении и температуре, связывая его химически [34].

Заключение

Результаты научных исследований С.С. Бацанова опубликованы более чем в 600 научных статьях, в десяти монографиях и справочниках:

- С.С. Бацанов «Структурная рефрактометрия» (1959, 1976);
- С.С. Бацанов «Электроотрицательность и химическая связь» (1962, 1981);
- С.С. Бацанов, Р.А. Звягина «Интегралы перекрывания» (1966, 1968);
- С.С. Бацанов «Экспериментальные основы структурной химии» (1986);
- S.S. Batsanov «Effects of explosion on materials», New-York, Springer (1994);
- С.С. Бацанов «Структурная химия. Факты и зависимости» (2000);
- S.S. Batsanov «Experimental foundation of structural chemistry», M., Moscow Univ. Press (2006);
- S.S. Batsanov, A.S. Batsanov «Introduction to structural chemistry», Dordrecht, Springer (2012);
- S.S. Batsanov, E.D. Ruchkin, I.A. Poroshina «Refractive Indices of Solids», Springer Briefs in Applied Sciences and Technology (2016);
- S.S. Batsanov «Shock and Materials», Springer Nature, Singapore (2018).

По инициативе С.С. Бацанова с 1974 по 1979 г. во ВНИИФТРИ были организованы три Всесоюзных симпозиума по импульсным давлениям, на которых были представлены работы по физике, химии и метрологии ударных волн. В 1984 г. был проведён советско-американский семинар по физике ударных волн с участием сотрудников ВНИИФТРИ, ИХФ, ИГФ РАН, ВНИИЭФ, Ливерморской лаборатории (США), Лос-Аломосской лаборатории (США) и Сандиа лаборатории (США).

Достижения С.С. Бацанова в становлении и развитии нового научного направления и его практического применения включают и создание научной школы. Только во ВНИИФТРИ Степан Сергеевич подготовил пять кандидатов физико-математических наук (Г.С. Доронин, А.И. Мартынов, А.В. Паршуков, Д.Л. Гурьев, С.М. Гаврилкин) и пять кандидатов химических наук (А.И. Лапшин, Л.И. Копанева, В.П. Бокарев, К.А. Тлеулиева, Е.В. Лазарева).

Наиболее краткая и точная характеристика научной работы С.С. Бацанова дана в письме академика В.Е. Фортова: «Проведённые С.С. Бацановым и его сотрудниками исследования привели к выдающимся результатам, не имеющим аналогов в мировой науке. По моему мнению, эти работы заслуживают дальнейшего развития, имея в виду не только их фундаментальную ценность, но и серьёзные перспективы практического применения».

В течение многих лет С.С. Бацанов занимал должность начальника научно-исследовательского отделения ВНИИФТРИ.

Успешно сочетать плодотворную творческую деятельность и руководство научным коллективом Степану Сергеевичу позволяют его безграничное научное любопытство, неиссякаемая энергия, чёткость и организованность в делах, широкая научная эрудиция, высокий авторитет в отечественных и международных кругах.

Литература

1. Бацанов С.С., Блохина Г.Е., Дерибас А.А. Журн. структ. хим., 6, 227 (1965).
2. Batsanov S.S. Diamond Relat. Mater., 20, 660 (2011).
3. Wang J., Gu Yu., Li Z., Wang W., Fu Z. Diamond Relat. Mater., 31, 15 (2013).
4. Wang J., Gu Yu., Li Z., Wang W., Fu Z. Cryst. Growth Design, 13, 599 (2013).
5. Покропивный В.В., Смоляр А.С., Овсянникова Л.И., Покропивный А.В., Куц В.А., Ляшенко В.И., Нестеренко Ю.В. Физ. твёрдого тела, 55, 806 (2013).
6. Бацанов С.С., Бацанова Л.Р., Доронин Г.С., Кутателадзе С.С., Мороз Э.М., Эренбург Р.С. Журн. структ. хим., 9, 1024 (1968).
7. Бацанов С.С. Физ. горения взрыва, 30, № 1, 125 (1994).
8. Бацанов С.С., Болховитинов Л.Г., Мартынов А.И. Письма в ЖТФ, 16, № 2, 53 (1990).

9. Бацанов С.С., Вазюлин В.А., Копанева Л.И., Максимов И.И., Морозов В.А., Фомин С.Л., Шмаков А.С. Физ. горения и взрыва, 27, № 4, 139 (1991).
10. Бацанов С.С., Василевский С.В., Гурьев Д.Л., Дидюков А.И., Исаев В.Н., Копанева Л.И., Лазарева Е.В., Максимов И.И., Туманов В.А., Шмаков А.С., Фомин С.Л. Хим. физика, 10, 286 (1991).
11. Бацанов С.С., Бокарев В.П., Максимов И.И., Туманов В.А. Физ. горения и взрыва, 29, № 5, 102 (1993).
12. Бацанов С.С., Гоголя М.Ф., Бражников М.А., Лазарева Е.В., Доронин Г.С., Клочков С.В., Банщикова М.В., Федоров А.Ф., Симаков Г.В. Хим. физика, 10, 1699 (1991).
13. Бацанов С.С., Гоголя М.Ф., Бражников М.А., Симаков Г.В., Максимов И.И. Физ. горения и взрыва, 30, № 3, 107 (1994).
14. Alder B. Solids under Pressure, McGraw-Hill, New York, 1963, p. 385.
15. Бацанов С.С. Физ. горения и взрыва, 32, № 1, 115 (1996).
16. Batsanov S.S. Mater. Sci. Engen., A210, 57 (1996).
17. Бацанов С.С. Физ. горения и взрыва, 32, № 1, 115 (1996).
18. Бацанов С.С. Физ. горения и взрыва, 42, № 2, 128 (2006).
19. Гурьев Д.Л., Гордополов Ю.А., Бацанов С.С. Физ. горения и взрыва, 42, № 1, 130 (2006).
20. Guriev D.L., Gordopolov Yu.A., Batsanov S.S., Merzhanov A.G., Fortov E.F. Appl. Phys. Lett., 88, 024102 (2006).
21. Болховитинов Л.Г., Бацанов С.С. Физ. горения и взрыва, 43, № 2, 108 (2007).
22. Бацанов С.С., Гордополов Ю.А. Физ. горения и взрыва, 43, № 5, 104 (2007).
23. Бацанов С.С., Доронин Г.С., Кошевой В.П., Ступников В.П. Физ. горения и взрыва, 4, № 1, 108 (1968).
24. Бацанов С.С. Неорган. матер., 43, 1195 (2007).
25. Gavrilkin S.M., Batsanov S.S., Gordopolov Yu.A., Smirnov A.S. Propellants Explosives Pyrotechnics, 34, 469 (2009).
26. Бацанов С.С., Поярков К.Б., Гаврилкин С.М. Письма в ЖЭТФ, 88, 686 (2008).
27. Бацанов С.С., Поярков К.Б., Гаврилкин С.М., Лесников Е.В., Шлегель В.Р. Журн. физ. хим., 85, 794 (2011).
28. Batsanov S.S., Gavrilkin S.M., Batsanov A.S., Poyarkov K.B., Kulakova I.I., Johnson D.W., Mendis B.G. J. Mater. Chem., 22, 11166 (2012).
29. Batsanov S.S., Osavchuk A.N., Naumov S.P., Efimov A.E., Mendis B.G., Apperley D.C., Batsanov A.S. Propellants Explos. Pyrotech., 40, 39–45 (2015).
30. Batsanov S.S., Osavchuk A.N., Naumov S.P., Gavrilkin S.M., Leskov A.S., Mendis B.G., Beeby A., Batsanov A.S. Mater. Chem. Phys. (2018).

31. Batsanov S.S., Dan'kin D.A., J. Phys. D: Appl. Phys. 49, 275301 (2016).
32. Batsanov S.S., Guriev D.L., Gavrilkin S.M., Hamilton K.A., Lindsey K., Mendis B.G., Riggs H.J., Batsanov A.S. Mater. Chem. Phys. 173, 325-332 (2016).
33. Batsanov S.S. Soil Biology and Biochemistry, 76, 2 (2014).
34. Batsanov S.S., Gavrilkin S.M., Shatalova T.B., Mendis B.G., Batsanov A.S. New Journal of Chemistry. T. 42. № 13. С. 11160-11164 (2018).

Редакция «Альманаха современной метрологии» присоединяется к поздравлениям с юбилеем доктора наук С.С. Бацанова.

ГРИГОРИЙ КАЛИСТРАТОВИЧ ЯГОЛА



Сто пять лет со дня рождения исполняется в этом году одному из признанных научных руководителей школы советских метрологов, крупнейшему специалисту в области электрических и магнитных измерений, доктору технических наук, профессору, участнику Великой Отечественной войны 1941–45 гг. Григорию Калистратовичу Яголе.

В 1934 г. Григорий Калистратович окончил Киевский государственный университет. Затем тридцать лет работал в лабораториях магнитных измерений ВНИИМ.

В течение десяти лет он возглавлял Харьковский государственный научно-исследовательский институт метрологии (ХГНИИМ). Эти годы — яркая страница его научной деятельности. Под его руководством здесь был разра-