

УДК 82-43

DOI: 10.31040/2222-8349-2020-0-2-102-106

К ЮБИЛЕЮ АКАДЕМИКА Р.И. НИГМАТУЛИНА

17 июня 2020 г. исполняется 80 лет выдающемуся ученому, механику и математику академику Роберту Искандеровичу Нигматулину.

Наибольший вклад его работы внесли в решение таких фундаментальных проблем, как математическое моделирование динамики многофазных сред; гидро- и газодинамика паро- и газожидкостных систем; горение, детонация и взрыв в дисперсных средах; фильтрация многофазных жидкостей; динамика упругопластических сред с физико-химическими превращениями. Под руководством Р.И. Нигматулина выполнены актуальные исследования и разработки по проблемам безопасности энергетических и технологических систем; новым методам добычи нефти и газа; повышения нефтеотдачи пластов; повышения эффективности и интенсификации технологических процессов в энергетике, нефтепереработке, химической технологии и взрывном деле.

Р.И. Нигматулиным предложены оригинальная общая постановка проблемы движения гетерогенных сред; методы описания внутрифазных и межфазных процессов, основанные как на методах осреднения микроуравнений, так и на феноменологических методах, и метод построения замкнутых систем уравнений динамики и термодинамики различных типов гетерогенных сред. При этом удалось выделить важный класс движения смесей, содержащих газовую фазу, когда в последней реализуется однородное давление, которое может меняться во времени. Этот класс назван гомобарическим, и для него удастся упростить систему уравнений динамики смеси и получать решения соответствующих краевых задач аналитическими или простыми численными методами.

Наиболее ярко эффекты неоднородности проявляются при распространении волн. Р.И. Нигматулиным с сотрудниками установлены законы распространения различных видов волн (волн сжатия, разрежения, горения, детонации) в двухфазных системах различной структуры и обнаружены ряд новых эффектов. Показано существование ударных волн непре-

рывной монотонной и осцилляционной структуры, когда большую роль играют эффекты нестационарности структуры волны. Обнаружена определяющая роль межфазного тепло- и массообмена при распространении ударных волн в пузырьковых средах. Установлен механизм аномального усиления или кумуляции ударных волн в кипящих жидкостях. Теоретически предсказано существование различных типов детонационных волн в горючих аэрозвесьях и даны условия их реализации. Представлены ряд задач об истечении парожидкостных смесей и кипящих жидкостей из объемов, находящихся под большим давлением, и предложены эффективные методы их решения. Сформулированы условия критического истечения парожидкостной смеси.

Исследованиями, выполненными под руководством Р.И. Нигматулина, установлен механизм закоксовывания трубчатых печей для нагрева углеводородного сырья, который связан не только с кинетикой химических реакций, но и с гидродинамикой газожидкостного потока. В результате были предложены меры по предотвращению указанного явления и новые принципы конструирования печей.

Р.И. Нигматулин развил теорию скоростного деформирования твердых тел при наличии в них полиморфных превращений, образования и движения дислокаций, упрочнения металлов при взрывных нагрузках. Им впервые была поставлена и решена задача о высокоскоростном соударении упруго-пластических тел, претерпевающих фазовые переходы, когда возникает многоволновая картина движения. При этом были предсказаны ряд эффектов, которые впоследствии подтверждены экспериментом. В результате тщательного исследования была доказана определяющая роль фазовых переходов при аномальном упрочнении малоуглеродистой стали взрывом, получены уравнения, описывающие сверхпластичность, предложен теоретико-экспериментальный метод определения кинетики дислокационных процессов исходя из решения обратных задач.

Р.И. Нигматулиным с сотрудниками развита теория распространения акустических волн в пузырьковых жидкостях. Установлены основные закономерности распространения и затухания акустических волн в пузырьковых жидкостях в зависимости от вида жидкости, размеров пузырьков, их парогазового содержания, тепломассообмена на их поверхности. Создана теория распространения нелинейных волн в пузырьковых жидкостях. Установлены закономерности распространения в таких жидкостях плоских волн. Выявлены особенности взаимодействия плоских волн с границей между пузырьковой жидкостью и чистой жидкостью, воздействие на пузырьковые кластеры, их отражения от твердых стенок. Установлено, что если на акустические волны пузырьковый слой у стенки оказывает в основном экранирующее воздействие, то в случае нелинейных волн этот эффект несколько ослабевает, а в некоторых случаях амплитуда волны может даже возрастать. Показано, что при покрытии стенки пузырьковым слоем с определенным радиусом пузырьков и их объемным содержанием можно добиться как предотвращения отражения, так и существенного снижения воздействия на стенку.

Р.И. Нигматулиным предложен метод реализации сверхсжатия пузырьков непериодическим резонансным возбуждением (воздействием на стенку сферического резонатора в такт с расширением и сжатием пузырька). Установлено, что по мере увеличения влияния сжимаемости жидкости применимость этого метода сильно усложняется. Под руководством Р.И. Нигматулина разработаны широкодиапазонные уравнения состояния жидкой и паровой фаз воды, ацетона, бензола и тетрадекана. Без таких уравнений невозможно проведение теоретических исследований динамики указанных жидкостей и их пара при больших изменениях давления и температуры, особенно в условиях, когда имеется граница раздела фаз, на которой происходит тепломассообмен. Разработана теория эволюции несферических возмущений поверхности пузырьков при их сверхсильном сжатии. Установлено, что существенную роль в ограничении роста амплитуды несферических возмущений поверхности пузырьков при сжатии играет вязкость жидкости. Показано, что с повышением температуры жидкости рост амплитуды возмущений уменьшается. Установлено, что при сильном сжатии кавитационных пузырьков

в ацетоне амплитуда возмущений растет намного медленнее, чем в воде, что соответствует результатам экспериментов по нейтронной эмиссии при акустической кавитации дейтерированного ацетона.

Р.И. Нигматулин внес фундаментальный вклад в разработку теории экстремальной кумуляции энергии и сверхсжатия среды в кавитационных пузырьках при коллапсе. Показано, что для реализации такой кумуляции необходимо образование в пузырьках радиально-сходящихся ударных волн, посредством схождения которых к центру пузырьков и отражения от него и достигается сверхвысокая степень кумуляции энергии в малой центральной области пузырьков. Наряду с этим в ходе коллапса пузырьки и радиально-сходящиеся в них ударные волны должны быть близки к сферическим. Иначе сферическая кумуляция будет расфокусирована, так что вместо нее может быть реализована цилиндрическая кумуляция, или столкновение плоских ударных волн. Показано, что реализацию экстремальной кумуляции предпочтительнее осуществлять в кластере, поскольку в таком случае сжимающее пузырек давление выше, чем при воздействии на одиночный пузырек. При этом лучше использовать жидкости с большим молекулярным весом и малым показателем адиабаты пара (ацетон, бензол, тетрадекан), так как в паре таких жидкостей скорее образуются сходящиеся ударные волны. Данная теория имеет большие перспективы для приложений, в частности, в химии, поскольку при экстремальной кумуляции в пузырьках достигаются уникальные условия для химических реакций: плотности, сравнимые с плотностями твердых тел, температуры выше, чем на поверхности солнца, и давления более высокие, чем в самых глубоких местах мирового океана. Уникальность пузырьковой кумуляции заключается еще и в рекордно больших скоростях повышения и понижения давлений и температур, что также очень важно для химии. Под руководством Р.И. Нигматулина разработана теория гидродинамического взаимодействия между пузырьками. Показано, что несферичность пузырьков в центральной области пространственного кластера при расширении и сжатии пузырьков под действием гармонического изменения давления жидкости оказывается меньше, чем в центральной области линейного стримера, что находится в соответствии с результатами экспериментов по нейтронной

эмиссии при акустической кавитации дейтерированного ацетона. Р.И. Нигматулиным с сотрудниками создана теория динамики пузырьков кластеров как дискретного множества пузырьков. Показано, что при гармоническом воздействии на кластер закон изменения давления жидкости в центральной области кластера может сильно отличаться от гармонического, а сжимающее пузырьки давление жидкости может значительно превышать амплитуду гармонического воздействия. Р.И. Нигматулин с коллегами развил теорию динамики пузырьков кластеров также и в рамках модели сплошной среды. Показано, что пузырьковые кластеры могут фокусировать в своей центральной области энергию распространяющейся по жидкости плоской волны сжатия, в результате чего давление в центральной области кластера может быть намного больше давления в падающей волне.

Р.И. Нигматулиным совместно с группой американских коллег выполнены экспериментальные исследования сверхсжатия пузырьков при акустической кавитации дейтерированного ацетона, в которых впервые были зафиксированы нейтронная эмиссия и производство ядер трития, являющиеся свидетельством реализующихся в пузырьках термоядерных актов. Данные результаты имеют огромное фундаментальное значение.

Рассмотрены гидро- и термодинамические уравнения для атмосферы в метеорологических или климатических масштабах, когда силы инерции пренебрежимо малы по сравнению с силой тяжести, и когда сказывается инерция горизонтальной скорости и температуры. Для такого квазистатического по вертикали течения получено асимптотически точное уравнение для распределения вертикальной скорости по распределению плотности, температуры и горизонтальных скоростей. Выведена замкнутая система уравнений гидро- и термодинамики, в которой давление в каждой точке определяется весом столба воздуха над этой точкой. Именно эта система уравнений должна использоваться для расчетов климатических и метеорологических процессов, в которых существенную роль играет инерция горизонтальной скорости и безынерционная вертикальная скорость.

Р.И. Нигматулин является создателем и руководителем признанной в мире научной школы по механике многофазных систем (подготовил 26 докторов наук и 50 кандидатов на-

ук). Он входит в состав российских национальных комитетов по теоретической и прикладной механике, по тепло- и массообмену, международного комитета по многофазным течениям, редколлегий ряда отечественных и зарубежных журналов.

Он является автором свыше 250 научных публикаций и изобретений, среди которых 10 монографий и учебников. Его монографии являются настольными книгами специалистов, работающих в области механики и теплофизики гетерогенных сред. Учебник «Механика сплошной среды» стал одним из основных учебников студентов-механиков в университетах России.

В монографии «Основы механики гетерогенных сред» (М.: Наука, 1978. 336 с.) последовательно изложены теоретические основы, необходимые для понимания и расчета движения гетерогенных или многофазных смесей в разнообразных ситуациях. Такие смеси широко представлены в различных природных процессах и областях человеческой деятельности. Подробно изложены вопросы вывода уравнений движения, реологии и термодинамики гетерогенных сред. Для этого рассмотрены как феноменологический метод, так и более глубокий метод осреднения. Получены замкнутые системы уравнений для монодисперсных смесей с учетом вязкости, сжимаемости фаз, фазовых переходов, относительного движения фаз, радиальных пульсаций пузырей, хаотического движения и столкновения частиц и других эффектов. Рассмотрены уравнения и постановки задач применительно к твердым пористым средам, насыщенным жидкостью. Описаны имеющиеся в современной литературе решения задач о движении и тепло- и массообмене около капель, частиц, пузырьков. Монография пользуется большим спросом у научных и инженерно-технических работников, занимающихся механикой и работающих в энергетике, космической и атомной технике, химической технологии, нефтегазодобывающей промышленности, взрывном деле. Она широко используется в качестве учебного пособия студентами и аспирантами университетов, политехнических и физико-технических вузов.

В двухтомной монографии «Динамика многофазных сред» (Т. 1, 464 с. и Т. 2, 360 с., М.: Наука, 1987), переведенной и изданной в США («Dynamics of Multiphase Media». Vol. 1, 2, Hemisphere, 1991), систематически излагают-

ся механика и теплофизика различных многофазных сред – газозвесей, пузырьковых жидкостей, газо- и парожидкостных потоков, двухфазных жидкостей в пористых телах. Приводятся основные уравнения механики и теплофизики многофазных сред различной структуры, рассматриваются методы описания межфазного взаимодействия в дисперсных средах, исследуются ударные и детонационные волны и волны горения в конденсированных средах, газозвесях и пористых телах, дается теория обработки и упрочнения металлов взрывом. Излагаются теория звуковых, ударных и кинематических волн и колебательных движений в двухфазных средах, гидравлика и теплофизика газожидкостных потоков, теория кризисов теплообмена, критических истечений, фильтрации многофазных жидкостей. Описываются экспериментальные методы и их результаты. Данный двухтомник пользуется огромной популярностью у студентов и аспирантов вузов, а также исследователей, работающих в энергетике, космической и атомной технике, химической технологии, нефтяной и газовой промышленности, взрывном деле.

Деятельность Р.И. Нигматулина неразрывно связана с организацией различных конференций, симпозиумов, съездов, где он производил незабываемое впечатление своими яркими эмоциональными докладами. Научному сообществу ученых-механиков памятли последние съезды по теоретической и прикладной механике, которые успешно прошли в Казани (2015 г.) и в Уфе (2019 г.) и собрали около 1500 участников каждый. Высокий уровень проведения мероприятий был оценен старшим поколением, которое вспомнило съезды, проведенные в СССР в национальных республиках. Такие крупные научные мероприятия невозможны без поддержки региональных лидеров. Успех в проведении съездов в Казани и Уфе во многом обусловлен высоким авторитетом Р.И. Нигматулина в Татарстане и Башкортостане и поддержкой республиканского руководства.

Памятли международные юбилейные конференции, проведенные на судах Института океанологии им. П.П. Ширшова в 2010, 2015 гг., которые собрали ведущих специалистов по механике многофазных сред со всего мира. Юбиляр Р.И. Нигматулин каждый день сам вел заседания. Ни один доклад не остался без комментариев председателя в присущей ему живой манере, и всегда им высказывались

доброжелательные пожелания в адрес докладчика. Запомнилось одно из заседаний, которое проходило при значительной качке корабля из-за плохой погоды на Балтийском море. Некоторые участники не смогли даже присутствовать и остались в каютах. Р.И. Нигматулин, несмотря на неважное самочувствие и предложения отдохнуть, мужественно сам провел это заседание, не уступив место председателю.

Уходящее десятилетие запомнится реформой Российской академии наук, отрывом академических институтов от РАН, что, по мнению большинства членов РАН, нанесло значительный ущерб развитию фундаментальной науки в России. Р.И. Нигматулин всегда выступал и выступает за возвращение академических учреждений в РАН, о чем свидетельствуют его многочисленные яркие выступления на общих собраниях РАН и в прессе. Тем не менее в сложившейся сложной ситуации Р.И. Нигматулин принял активное участие в реформировании академической сети институтов в Казани и Уфе и создании на базе Казанского и Уфимского научных центров Федеральных исследовательских центров.

Высокопродуктивную научную деятельность Р.И. Нигматулин сочетает с активной общественной, организационной и руководящей работой. Он является членом Президиума РАН, внес крупный вклад в создание и становление Тюменского научного центра СО РАН, был организатором и первым директором Института механики многофазных систем СО РАН (1990–1995 гг.), организовал кафедру и диссертационные советы в Тюменском государственном университете. Возглавлял две академические организации в Уфе: Уфимский научный центр (1993–2006 гг.) и Академию наук Республики Башкортостан (1996–2006 гг.). С 2006 г. Р.И. Нигматулин был директором, а с 2016 г. является научным руководителем Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН – одного из крупнейших институтов РАН. Благодаря его усилиям была кардинально улучшена работа научного флота России. Большое внимание он уделяет работе со студентами и аспирантами. Читал лекции во многих университетах СССР, России и ряде стран мира. В настоящее время является профессором и заведующим кафедрой МГУ им. М.В. Ломоносова. Он блестящий пропагандист и популяризатор достижений отечественной науки.

Академик Р.И. Нигматулин применил свои знания и эрудицию в качестве депутата Государственного собрания РБ (избирался дважды: в 1995 и в 1999 гг.), депутата Государственной Думы РФ третьего созыва (1999 г.), где возглавлял Высший экологический совет. Был представителем России в ПАСЕ. Руководил созданием важнейшего закона о регулировании работ с облученным ядерным топливом, который был принят в 2001 г.

За успешную и плодотворную деятельность Р.И. Нигматулин был награжден многими государственными наградами, среди которых Премия Ленинского комсомола (1973 г.), Госу-

дарственная премия СССР (1983 г.), премии Правительства РФ (2012, 2019 гг.), орден Почета (2000 г.), орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2011 г.) и др.

Ученики, друзья, коллеги и редколлегия журнала сердечно поздравляют Роберта Искандеровича Нигматулина с замечательным юбилеем, желают здоровья, долголетия и новых выдающихся достижений.

*А.А. ГУБАЙДУЛЛИН, д.ф.-м.н.
Д.А. ГУБАЙДУЛЛИН, чл.-корр. РАН
А.А. АГАНИН, д.ф.-м.н.*



ON THE JUBILEE OF RAS FULL MEMBER ROBERT I. NIGMATULIN

© A.A. Gubaydullin, D.A. Gubaydullin, A.A. Aganin

Institute of Mechanics and Engineering, Federal State Budgetary Institution of Science
«Kazan Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences»,
2/31, ulitsa Lobachevskogo, 420111, Kazan, Russian Federation