



Rakhmatulin waves (to the 100th anniversary of Kh. A. Rakhmatulin), *Vestnik Moskov. Univ. Ser. 1. Mat. Mekh.*, 2009, Number 2, 3–6

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use  
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:  
IP: 18.97.14.85  
March 17, 2025, 12:11:51



## ВОЛНЫ РАХМАТУЛИНА

(к 100-летию со дня рождения Х. А. Рахматулина)



Выдающийся ученый, талантливый педагог и организатор науки, Герой Социалистического Труда, лауреат Государственных премий СССР, академик АН УзССР, основатель кафедры газовой и волновой динамики механико-математического факультета МГУ Халил Ахмедович Рахматулин (23.04.1909–10.01.1988) — автор фундаментальных исследований по механике. Многие его идеи и методы стали отправными для ряда крупных исследований советских и зарубежных ученых по проблемам течений жидкости, газа, динамике упругопластических сред, движений взаимопроникающих (многокомпонентных) сред. Научно-педагогическая, организаторская, общественная деятельность Халила Ахмедовича многогранна и тесно связана с Московским университетом.

Х.А. Рахматулин родился в г. Токмаке (Киргизская ССР). Трудовую деятельность он начал с 10 лет. В 1925 г. поступил в Ташкентский областной педагогический техникум, по окончании которого работал в нем преподавателем, продолжая учебу на физико-математическом факультете Среднеазиатского государственного университета. В 1931 г. при личном содействии наркома просвещения, председателя Ученого комитета при ЦИК СССР академика АН СССР А.А. Луначарского Халил Ахмедович был переведен на механико-математический факультет МГУ. В 1937 г. он защитил кандидатскую диссертацию по аэродинамике больших скоростей и был оставлен на факультете в должности доцента и заведующего аэродинамической лабораторией механико-математического факультета МГУ. В 1943 г. Халил Ахмедович защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. В 1947 г. он был избран академиком АН УзССР. Кафедрой газовой и волновой динамики Х.А. Рахматулин заведовал со дня ее основания в 1951 г.

Научная деятельность Халила Ахмедовича ярко характеризует многогранность его научных интересов. Его исследования охватывают динамические проблемы различных областей механики. Им получены фундаментальные результаты, имеющие научное и прикладное значение в областях: теории распространения упругих и упругопластических волн; дифракции ударных волн, распространяющихся в газе; теории

парашюта и аэродинамики проникаемого тела; динамики грунтов; движения многокомпонентных сред; химической технологии и др. Эти результаты, вошедшие в сокровищницу отечественной и мировой науки, находят широкое применение в важнейших областях техники.

В области теории упругопластических сред Х.А. Рахматулин открыл особые волны разгрузки, обусловленные необратимостью процессов пластических деформаций. В отечественной и зарубежной литературе эти волны называются волнами Рахматулина. Он установил закон распространения упругопластических волн, законы накопления остаточных деформаций при многократных нагрузках, разработал методики получения динамических диаграмм растяжения и сжатия материалов за пределами упругости. Эта теория является основой расчета прочности и сейсмостойкости различных сооружений, расчетов пробивания бетона и других преград. Его монография «Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках» получила мировую известность. В 1945 г. Теодор Фон Карман отметил, что Х.А. Рахматулин — первый ученый, наиболее полно исследовавший вопрос о продольном ударе по упругопластическому стержню.

Основополагающими явились также исследования Х.А. Рахматулина в теории поперечного удара. Им была выявлена волновая картина, возникающая при ударе по гибким нитям. Его теория использовалась для расчета тросов аэростатов воздушного заграждения, которые широко применялись для обороны Москвы в годы Великой Отечественной войны. За исследования по динамике упругопластических волн и волн в гибких связях Х.А. Рахматулин был удостоен Государственной премии СССР (1949) и премии им. М.В. Ломоносова (1945).

Изящная теория поперечного удара по гибкой растяжимой нити, родившаяся в годы Великой Отечественной войны как ответ на насущные задачи практических приложений, нуждается в более подробном описании. Вопрос об эффективности применения аэростатов заграждения для защиты исторических, культурных и народно-хозяйственных ценностей от атак с воздуха остро стоял с первых дней войны. Если столкновение натянутого троса с быстро летящим самолетом приведет к обрыву троса, то разворачивать подобную систему неэффективно. При рассмотрении задачи о натяжении троса под воздействием поперечной нагрузки у большинства возникает ассоциация с отклонением гитарной струны (рисунок, а). Небольшое отклонение троса, как видно из рисунка, приводит к возникновению большой силы натяжения  $T$ , ориентированной по направлению троса. При этом сила  $F$ , действующая на отклоняющее трос тело

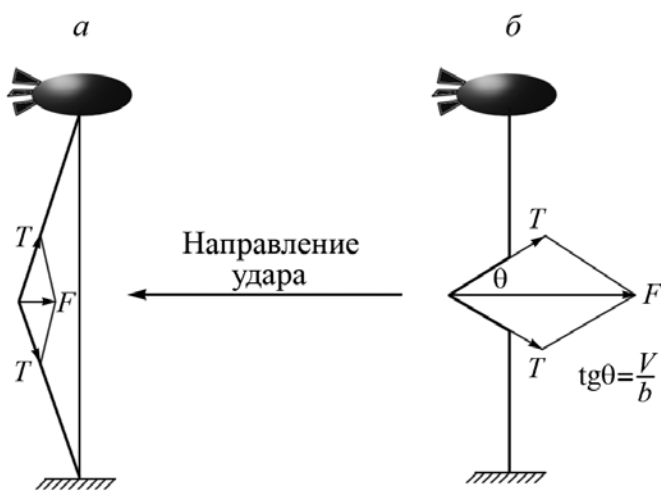


Схема сил, возникающих при квазистатическом (а) и динамическом (б) отклонениях троса при ударе

(крыло или фюзеляж), будет значительно меньше. Допущение о том, что трос и ударяющий предмет выполнены из одного и того же материала и близки по прочностным характеристикам, приводит немедленно к выводу, что разрушению подвергнется трос, что делает его применение малоэффективным. Х.А. Рахматулиным было показано, что в момент удара от точки встречи по тросу в обе стороны (вверх и вниз) будет распространяться продольная волна со скоростью  $a = \sqrt{Es/\rho}$ , а за ней с меньшей скоростью ( $b = \sqrt{T/\rho(1 + \varepsilon)}$ ) поперечная волна, которая и будет изгибать трос. (Здесь  $E$  — модуль упругости,  $\varepsilon$  — деформация троса,  $\rho$  — линейная плотность,  $s$  — площадь сечения.) Поэтому форма троса в первые моменты удара, пока возмущения еще не дошли до его концов, будет существенно другой (см. рисунок, б, где тангенс угла отклонения  $\theta$  пропорционален скорости удара  $V$ ). При этом правило сложения сил показывает, что сила  $F$ , действующая на отклоняющее трос тело, может существенно превосходить силу натяжения троса и будет тем больше, чем больше скорость полета самолета. В этом случае разрезание крыла или фюзеляжа летящего самолета становится неизбежным.

Полученное решение доказало эффективность применения аэростатов заграждения для борьбы с низколетящими целями. Соответствующие системы были развернуты и эффективно охраняли столицу в годы войны. Тросы аэростатов заграждения имели и сильнейший психологический эффект: неожиданность их появления перед самолетом, невозможность предварительного обнаружения и летальный исход при столкновении — все это приводило в ужас вражеских летчиков и заставляло подниматься на большие высоты, что исключало прицельное бомбометание. Поэтому здания Москвы сохранились во многом благодаря исследованиям, выполненным Х.А. Рахматулиным.

Эти результаты послужили основой для разработки современной теории поперечного удара по связям типа нитей, мембран, оболочек, которая в дальнейшем развивалась Х.А. Рахматулиным и его учениками на кафедре газовой и волновой динамики МГУ. Теория поперечного удара широко используется при расчетах динамических задач для тонкой брони, сетей, аэрофинишеров и в технологиях текстильной промышленности. Выявлены особенности взаимодействия тел и связей.

Большое практическое значение имеют исследования Х.А. Рахматулина по динамике грунтов. Им были рассмотрены вопросы проникания тел и распространения взрывных волн в грунтах и бетоне. Результаты этих исследований нашли применение, в частности, при расчете гидротехнических и подземных сооружений на сильные взрывные нагрузки.

На основе идей, методов и результатов исследований Х.А. Рахматулина по теории обтекания проницаемых тел и теории движения многокомпонентных и многофазных сред появились школы и лаборатории, в том числе и в Московском университете, сотрудники которых успешно ведут научные исследования по этим современным актуальным проблемам механики. Возникшие отраслевые институты, активно сотрудничавшие с кафедрой газовой и волновой динамики, применяли результаты научных исследований Х.А. Рахматулина по аэродинамике проницаемых сред для разработки различных типов парашютов, использовавшихся, в частности, для организации мягкой посадки спускаемых космических аппаратов.

Исследования последних десяти лет жизни Х.А. Рахматулина по динамике ударного взаимодействия тел с плотными преградами, выполненные им совместно со своими учениками и коллегами по кафедре газовой и волновой динамики А.И. Бунимовичем, В.М. Гендуговым, А.В. Звягиным, А.Б. Киселевым, В.Ф. Максимовым, А.Я. Сагомояном, были удостоены в 1990 г. премии Совета Министров СССР.

Х.А. Рахматулин — основоположник теории взаимопроникающего движения многофазных сред. Им впервые была получена замкнутая система уравнений движения смеси нескольких сжимаемых фаз, проанализированы законы распространения волн, даны основы теории пограничного слоя в двухфазной смеси. Также впервые им была поставлена и решена задача о сверхзвуковом потоке газа, содержащего твердые и жидкие частицы.

Результаты, полученные Х.А. Рахматулиным в механике многофазных сред, нашли применение в гидротехнике, химической технологии, атомной энергетике, теории горения и взрыва в гетерогенных средах, при создании образцов новой техники и активно развивались его учениками и последователями на кафедре газовой и волновой динамики МГУ (*Нигматулин Р.И.* Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978; *Он же.* Динамика многофазных сред. Т. 1, 2. М.: Наука, 1987; *Зверев И.Н., Смирнов Н.Н.* Газодинамика горения. М.: Изд-во МГУ, 1987; *Смирнов Н.Н., Зверев И.Н.* Гетерогенное горение. М.: Изд-во МГУ, 1992).

В 1979 г. Х.А. Рахматулин был удостоен звания Героя Социалистического Труда во многом за свои исследования по механике многофазных сред; его ученик Р.И. Нигматулин получил в 1973 г. премию Ленинского комсомола, а в 1983 г. — Государственную премию СССР за исследования по механике многофазных систем. Н.Н. Смирнову была присуждена премия И.И. Шувалова (1993) за исследования по гетерогенному горению.

Под руководством Х.А. Рахматулина разработана новая технология для аэрохимической очистки зерен риса, хлопковых семян и других культур, являющаяся наиболее совершенной и экономичной и превосходящая все технологии, существовавшие в то время в СССР и за рубежом.

Х.А. Рахматулин совмещал заведование кафедрой с работой в Центральном НИИ машиностроения (ЦНИИмаш) — головном институте ракетно-космической отрасли. Ему принадлежит идея создания аэродинамической базы в ЦНИИмаше, а также ее дальнейшее воплощение. Предложение было поддержано главным конструктором С.П. Королевым. В результате в ЦНИИмаше была создана самая крупная для того времени экспериментальная база по аэродинамике, включающая установку адиабатического сжатия, серию ударных труб большого диаметра и установку электродугового разогрева с вращающейся дугой, позволявшей получать поток воздуха при давлениях 150–200 атм и температурах 5000–6000°С. Создание экспериментальной аэродинамической базы было необходимо для исследования входа космических аппаратов в атмосферу. Большое количество учеников Х.А. Рахматулина и выпускников кафедры возглавили крупные отделы и лаборатории ЦНИИмаша, а его ученик, лауреат Ленинской премии профессор Ю.А. Демьянов, долгие годы возглавлял крупное отделение аэродинамических исследований.

После выхода аппаратов в космос, где средние скорости составляют 8 км/с, встал вопрос о высокоскоростном взаимодействии тел, в частности о взаимодействии элементов конструкций с мелкими частицами при высокоскоростном столкновении. Для изучения поведения материалов при высоких скоростях столкновения Х.А. Рахматулиным была предложена идея трехступенчатой легкогазовой установки с гидропоршнем. В дальнейшем эти идеи были развиты и воплощены Н.Н. Поповым. Крупными «легкогазовыми

пушками” были оснащены исследовательские центры в Томске и Бийске. Эти установки позволяли исследовать взаимодействие тел, движущихся с космическими скоростями (до 10 км/с).

Работа по экспериментальной аэродинамике, выполненная под руководством и при непосредственном участии Х.А. Рахматулина, была удостоена Государственной премии СССР (1974).

Х.А. Рахматулин предложил численный метод решения линейных задач механики и математической физики, названный им методом источников, позволяющий наиболее экономично по сравнению с другими методами и без особых усложнений решать задачи с любой формой границы и любыми начальными условиями. Метод успешно используется для расчетов на прочность и газодинамических расчетов различных конструкций.

Под руководством Х.А. Рахматулина создана серия гидродинамических волновых установок для получения смесей и суспензий сверхвысокого качества, которые другими методами получать не удавалось. Ряд таких установок успешно работает в строительных организациях России и стран СНГ. За эти работы Х.А. Рахматулин был удостоен премии Совета Министров СССР (1985).

Велики заслуги Халила Ахмедовича в подготовке высококвалифицированных научных кадров. Сотни специалистов, докторов и кандидатов наук успешно работают в НИИ и вузах страны, развивают научные исследования по механике во многих зарубежных странах.

Х.А. Рахматулин непрерывно вел большую научно-организационную работу. Он был заместителем председателя Национального комитета СССР по теоретической и прикладной механике, председателем секции импульсных воздействий научного совета по прочности и пластичности АН СССР, членом секции Международной астронавтической академии, бессменным руководителем методологического семинара отделения механики механико-математического факультета МГУ.

Выдающиеся заслуги академика Х.А. Рахматулина высоко оценены: он удостоен звания Героя Социалистического Труда, награжден четырьмя орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени, орденом “Знак Почета”, медалями. Ему присвоены звания заслуженного деятеля науки и техники РСФСР и УзССР. Он дважды лауреат Государственной премии СССР, дважды лауреат премии Совета Министров СССР, лауреат Государственной премии УзССР им. Бируни, премии им. М.В. Ломоносова.

Халила Ахмедовича отличали чуткое отношение к людям, справедливость и необыкновенная доброта. Все, кому посчастливилось соприкоснуться с Халилом Ахмедовичем при решении научных или жизненных проблем, ощутили на себе эти волны доброты, исходящие от него. Как и открытые им волны разгрузки, они с полным правом могут быть названы волнами Рахматулина.

Халил Ахмедович ушел из жизни внезапно 10 января 1988 г. Память о Халиле Ахмедовиче, выдающемся ученом и патриоте, навсегда сохранится в его родном Московском университете.