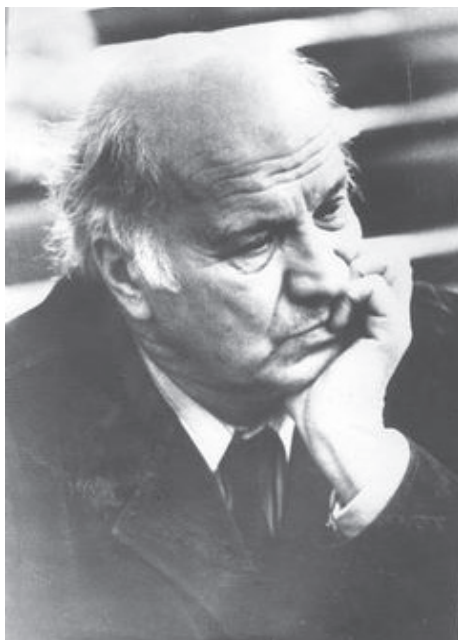




Ильюшин Алексей Антонович

(7 (20) января 1911, Казань – 31 мая 1998, Москва) – советский и российский учёный в области механики сплошных сред. Член-корреспондент АН СССР (1943)

ДИНАМИКА*

Жизнь университетского профессора со стороны кажется академической, размеренной и очень далекой от той жизни, которая проходит рядом. На самом деле все намного сложнее. Серьезный научный результат неотрывно связан с частной жизнью исследователя и через нее с той социальностью, в которой он существует. Это я и пытаюсь показать, рассказывая о некоторых своих этапных работах по динамике сплошных сред и обстоятельствах, их сопровождающих.

В декабре 1929 г. я перевелся на первый курс физико-математического факультета Московского университета из Казанского университета. Первые два года велись напряженные теоретические занятия физикой и математикой. Следующие два года обучение продолжалось в режиме:

4 дня в неделю математика, кроме того, аналитическая динамика, аэродинамика, гидромеханика, теория упругости, гидравлика и сопротивление материалов, включая лабораторные занятия, а также специальные курсы (теория крыла и винта, статика и динамика сооружений, прикладная механика) и два дня – производственной практики, которая оплачивалась (стипендия была небольшой). В 1930–1931 гг. звание техника нам давалось после прохождения необычно большой для студентов физмата МГУ производственной практики в литейных, кузнечных и механических цехах заводов. Так что, имея уже квалификацию станочника по дереву (перед поступлением в КГУ я должен был отработать на производстве год), я освоил и слесарно-кузнечное дело.

* Ильюшин А.А. Динамика [Впервые опубликовано в: Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Матем., мех., 1994, № 3, 79–87] // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2025. – № 3. – С. 42–50.

Собственно научная и инженерная работа началась для меня весной 1932 г. в СЛИ – секции летных исследований ЦАГИ – главного центра авиационной науки страны, созданного в декабре 1918 г. Н. Е. Жуковским.

В СЛИ изучали тогда динамику одной из сложных фигур высшего пилотажа – «штопора», выполнение которой нередко оканчивалось аварией. Перед полетом для увеличения числа витков «штопора» в хвостовую и боковые части самолета У-2 добавляли песок, путем вычислений надо было точно определить изменения центровки и моментов инерции самолета (С). Я прочел статью Н. Е. Жуковского «Колебания маятника о двух степенях свободы» – результатом стал метод определения тензора инерции путем крутильно-маховых качаний С на бифилярных подвесках – точный метод его измерения с помощью часов. Для СЛИ это был незнакомый прием, однако солидные летчик и руководитель темы Ю. А. Победоносцев качались в готовой к полету машине.

Меня перевели в отдел ОК и через год присвоили звание инженера ЦАГИ. Особыми конструкциями (ОК) назывались тогда в самолетном варианте автожиры – с пассивно ротирующим винтом и вертолеты – с активным. В Общетеоретическом отделе ЦАГИ под руководством знаменитого С. А. Чаплыгина работали в то время В. В. Голубев, А. И. Некрасов, Л. Н. Сретенский, Н. Е. Кочин, М. А. Лаврентьев. Я занимался тщательными поэлементными расчетами лопастей несущего винта, имеющих все три степени свободы (одну – с существенно освобождающими связями). Сравнивая числа своих таблиц с опытными, я обнаружил существенные (особенно в расчетах прочности) эффекты кориолисовых ускорений, характерные для этого сложного движения.

На увлекательных лекциях по механике А. И. Некрасова и А. П. Минакова в 1933–1934 гг. мне пришла в голову мысль построить в Центральном парке культуры и отдыха имени Горького (ПК) динамический стенд – аттракцион «Параболоид чудес» (ПЧ), где посетители могли бы воспринять в ощущениях все тонкости криволинейного поля ускорений, особенно знаменитого «кориолиса». Директор парка культуры Бетти Глан доверила мне, инженеру ЦАГИ, и моему школьному товарищу технику-строителю А. Я. Эпштейну проектирование и строительство ПЧ. К середине лета 1934 г. он был построен в виде 10-метрового шара деревянно-тросовой конструкции на упорнорадиальных шарикоподшипниках, вращающегося со скоростью около 18 об/мин вокруг вертикальной оси. Изнутри это был точный параболоид, по верхнему контуру ортогонально присоединенный к крыше, сделанной в виде конуса, с углом $2\pi/3$ (120°) при вершине. Значит, «полное ускорение на точку», т. е. на всех людей, находящихся внутри у верхнего края, ощущающих на ногах двойной «собственный вес», было $2g$, и коэффициент перегрузки, говоря языком космонавтов, был $n=2$. Шар был окружен кольцевым балконом и имел входную дверь. После визуального медосмотра до 10 человек желающих заходили внутрь, служитель закрывал дверь, и шар начинал незаметно вращаться. При скорости 18 об/мин раздавалась команда «Расходиться!», и начинались все «чудеса» криволинейного поля ускорения и относительности: не понять, где верх, где низ, брошенный мяч летит по спирали, при быстром изменении взгляда кружится голова, все стоят в странных позах, кто под разными углами на стенах, кто висит вниз головой на потолке и т. д. Это – прототип тренажеров будущих космонавтов; но невесомость в ПЧ недостижима. Коэффи-

циент перегрузки n может возрастать, но не убывать ниже нормального $n=1$ на Земле.

Фанера может «заболевает» – терять прочность. Мне как цаговцу это было известно, а ПЧ, к сожалению, деревянная конструкция да еще сильно динамически нагруженная, поэтому ему установили «срок жизни» 4 года.

В 1934 г. я защитил дипломную работу, опубликованную через два года вместе с двумя другими по расчету прочности прямооточных котлов и теории манометрической трубки (1937 г.) и поступил в аспирантуру МГУ. Тогда же начал заведовать лабораторией сопротивления материалов, которую вскоре превратил в лабораторию сложных динамических процессов, коротко в динамическую.

Подступила война. В динамической лаборатории на Моховой я приступил к созданию первого линейного механического ускорителя (ЛМУ) в виде пневматического скоростного копра (ПСК), открывшего дорогу к моей будущей тематике по большим скоростям и давлениям, методам моделирования динамических процессов, включая и проблемы артиллерии.

ПСК – это смонтированный в бывшей парикмахерской в МГУ на Моховой на железобетонном фундаменте небольшой воздушный компрессор (давление 10 ~ 15 атм.) с электромотором, баллоном емкостью 1 м³, задвижкой Лудло с быстрым пусковым устройством и гладко проточенной трубой ($d=0,18$ м, $l=1$ м), внутри которой двигался полый снаряд длиной от 0,2 до 0,4 м с различными устройствами, испытываемыми моделями и измерителями, расположенными в полости; и главное с мощной открыто заделанной в железобетоне высокопрочной и вязкой броневой плитой 2×2 м² толщиной 0,3 м. Вместе с ассистентом С. М. Поповым и настоящим универсалом –

слесарем, токарем, фрезеровщиком – В. Рябовым (он был арестован перед самой войной) мне приходилось дошлифовать ее прямо на месте, растачивать трубу и фрезеровать в плите разноформенные отверстия и каналы.

Я больше теоретик, хотя все годы занимался экспериментами. В область теории пластичности вошел как аэрогидродинамик. Мое внимание в основном привлекали не детали деформации вещества, а большие деформации и общая картина течений в эйлеровом пространстве. В 1936–1938 гг. мною написаны и защищены кандидатская и докторская диссертации по вязкопластическим течениям; впервые в теорию пластичности введены термодинамика, уравнения распространения тепла, ставятся и решаются новые задачи: устойчивости процесса по отношению к возмущениям формы границы области, устанавливается эквивалентность дифференциальных уравнений вязкопластических течений вариационному принципу минимума мощности внутренних сил; обобщение этого принципа на трехмерный случай было поручено А. А. Маркову; применение к задачам теории ползучести – Ю. Н. Работнову; приложения принципа минимума к теории обработки металлов давлением и устойчивости всякого рода «шеек» даны мною и учениками в Свердловске, Перми и на Украине, а применение к образованию пробок в нефтепромысловых стволах промывающими песчано-глинистыми жидкостями – А. Х. Мирзаджанзаде (Баку). Свойства вязкопластических материалов, отраженные в теории (ТВПТ), экспериментально определялись в 1935–1937 гг. гидравлическими методами, а для твердых тел – на ПСК (так была качественно подтверждена «формула МГУ» для числа осколков).

Далее будет ясно, почему именно в ноябре 1941 г. я резко переключился

с ТВПТ на развитие деформационных подходов в теории пластичности. Буквально за два месяца создал фундамент теории малых упругопластических деформаций (ТМУПД), доказал, что все варианты определяющих соотношений теории пластичности при простых нагружениях (ввел это понятие ПН) совпадают между собой и простейшая деформационная теория является единой физически достоверной для ПН. Необходимо только, чтобы процессы ПН могли существовать одновременно во всех точках внутри тела. И это доказано теоремой о простом нагружении при вполне приемлемых на практике условиях. Значит, физически достоверны и получаемые в соответствии с ней расчетные результаты, т. е. они будут совпадать с опытными и за правильность расчетов можно ручаться. Следующая теорема относится к разгрузкам и остаточным деформациям. И последний главный шаг теоретика – введение функции ω : $\sigma = (1 - \omega)E\varepsilon$, и создан сходящийся по ω «метод упругих решений» конкретных задач.

Все эти общие теоремы и методы были созданы для того, чтобы разобраться в явлениях, происходящих в артиллерийском снаряде при движении по каналу ствола, и обосновать вытекающую из этого возможность коренного изменения, упрощения и удешевления проектирования, расчета, производства и военной приемки снарядов, поскольку 16 октября 1941 г. немецкие войска стояли под Москвой, наша артиллерия – без снарядов.

В конце 1941 – начале 1942 г. и следующие военные годы мы с С. М. Поповым и сотрудниками кафедры теории упругости МГУ, Института механики АН СССР, где я также заведовал отделом прочности (с 1936 г.), провели большую работу по артиллерийским снарядам, о которой один из крупных руководителей промышленности боеприпасов гене-

рал Н. Д. Иванов в середине 1942 г. скажет: «Вы никогда не поймете – что сделали для войны и победы».

Дело в том, что все беды обрушились сразу, наши войска, отступая к Москве и оставляя в тылу немецких войска западные базы и запасы техники, поневоле стояли перед «снарядным голодом», ведь вся артиллерия – полевая, танковая, авиационная, морская – без снарядов становилась бессильной. Именно таково было положение под Москвой (ноябрь–декабрь 1941 г.). Потребность в артснарядах страны, вынужденной быть активной в войне, характеризуется тем, что значительно более половины всего производимого черного металла расходуется именно на артснаряды, а не на корпуса танков, воздушных и других кораблей и тем более строительных конструкций. Каждая пушка в виде снарядов выстреливает десятки собственных весов да еще с колоссальными перегрузками n , скажем, $2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3$. Если осмыслить названные цифры, то можно получить представление о расходах разных материалов и об энергетике войны.

Было принято распоряжение ГКО СССР о необходимости срочных работ по производству артиллерийских снарядов, особенно по максимальному упрощению технологии их изготовления при безусловном обеспечении безопасности выстрела.

Распоряжение ГКО СССР по производству артснарядов, по-видимому, было воспринято в Президиуме АН СССР как поручение металлургам-технологам. Известный ученый Б. Г. Галеркин (метод Бубнова–Галеркина), член Президиума АН СССР и директор Института механики АН СССР, эвакуированного в Казань одновременно с Президиумом АН СССР, вероятно, по существу узнал об этом распоряжении только в Казани, но ему казалось, что механики тут ничего сделать не

могут. Мое появление в Казани было следствием ряда случайностей. 16 октября 1941 г. по распоряжению председателя государственного комитета по ВУЗам министра С. В. Кафтanova вместе с группой других «видных» ученых я выехал последним поездом с «удобствами» по маршруту Москва – Вятка – Пермь – Свердловск – Ашхабад. Понимая бессмысленность и бесцельность своего маршрута, я выдумываю способы своего возвращения в Москву, но движение в сторону Москвы в то время было категорически исключено. В Перми я совершенно случайно оставляю поезд, попадая на буксирный пароход, капитан которого с риском для себя, к счастью, соглашается взять меня. И вот вниз по Каме, вверх по Волге, и я в Казани. В Институте механики АН СССР при первой же встрече с Галеркиным я детально узнаю содержание распоряжения ГКО СССР. Серьезность дела я понял 14 ноября 1941 г., когда срочно на военном самолете, кажется, на «Дугласе», с пулеметной турелью в верхнем люке (ведь к Москве, небо которой было исчерчено лучами прожекторов и трассирующих пуль, лететь было небезопасно), летел в Москву. В Москве я встретился с друзьями инженерами НИИ-24, а также познакомился с председателем АРТКОМА ГАУКА генералом В. И. Хохловым и министром боеприпасов СССР Б. Л. Ванниковым, которые тут и узнали меня лично как ученого.

Артиллерийский снаряд к началу войны представлял стальной (а как вскоре оказалось, мог быть и чугунным), довольно толстостенный цилиндр с отношением толщины к радиусу примерно 0,2~0,3, с ожевальнoй головной частью и слегка конической донной, с ведущим пояском, создающим обтюрацию пороховых газов в стволе и придающим снаряду вращение вокруг оси при его движении

по нарезам в канале ствола. Вникаю в проблему «Прочность снарядов при выстреле» (с таким названием в 1992 г. была издана моя книга, а ограниченным тиражом – в 1957 г.; в том же году вышла другая – «Вопросы прочности артиллерийских стволов»). В первую очередь мое внимание приковали два обстоятельства. Военная приемка на заводах производилась по наибольшей остаточной деформации корпуса рядом с ведущим пояском. Снаряды, выпущенные настильным отстрелом по мягким грунтам на полигонах, собирают и индикаторами измеряют деформацию поверхности; если она меньше 0,25 мм по диаметру, то снаряд годен, если нет – отбракован. Это проверяется на большой партии (не на одном снаряде). Если условие прочности – «меньше 0,25» – нарушается, бракуется партия; так отбраковывались многие партии. Значит, вопрос решается по остаточной, т. е. пластической, деформации, возникающей в снаряде в стволе. А проектирование и расчеты снарядов на прочность велись тогда всюду во всем мире методами теории упругости (задачи Ляме–Гадолина). Явное противоречие, говорящее о том, что моими предшественниками совсем не понят процесс совместных деформаций ствола и движущегося в нем снаряда.

Отсюда понятен мой резкий переход от теории пластического течения (ТВПТ) к деформационному подходу – к созданию теории малых упругопластических деформаций (ТМУПД), точнее к математически еще не выясненной, физически достоверной теории пластичности, которая давала бы в расчетах на прочность ответственных изделий с ясной точностью надежные числовые значения основных параметров конструкций. «Надежные» – это слово звучало, ведь так недавно и не только из-за какой-то надежности летели головы культурно-

интеллигентной элиты и простых советских людей. Но все это как-то забывалось на фоне наступления танковых армий и всей переоснащенной военной техникой армии Гитлера, особенно на фоне нашей обескровленной артиллерии и еще каких-то, хотя и нечастых, но преждевременных взрывов снарядов в каналах стволов, уничтожающих пушки и обслуживающие их расчеты (солдат).

Анализ выстрела однозначно привел к отмеченным выше работам по ТМУПД. Первая фаза движения снаряда в стволе заканчивается моментом полного врезания пояска в конце конической части ствола при давлении пороховых газов $0 < p_{\text{вр}} \leq 250 \sim 300$ атм. Реакция N ведущего пояска на ствол и прогиб снаряда под пояском w достигают максимальных значений, внутренняя поверхность снаряда сильно натягивается в осевом направлении, значит, в этот момент может образоваться внутренняя кольцевая трещина, в которую может проникать взрывчатка (ВВ), заполняющая полость снаряда. Если же пластичность стали достаточна (трещина не образовалась), то при N_{max} , w_{max} наполнитель (ВВ) под пояском необратимо сжат реакцией и кольцевым прогибом $2w_{\text{max}}$ (скажем, $0,5 \sim 1$ мм). Во второй фазе движения при давлениях в стволе от $p_{\text{вр}}$ до p_{max} происходит общее сильное сжатие снаряда и ВВ, особенно в запоясковой (донной) части; но при этом происходит проталкивание ВВ с сильным трением через суженное (за счет прогиба) сечение снаряда (эффект «спички») и затем постепенное уменьшение реакции N и прогиба. Теперь возникает возможность исчезновения реакции, образования зазора и вначале прорыва пороховых газов над пояском. Введены понятие и критерий сохранения несущей способности корпуса снаряда при $p \approx p_{\text{max}}$. Найдены теоретически допустимые прогибы, остаточные прогибы и нормы во-

енной приемки. Особую трудность представляла задача отыскания двух главных неизвестных: максимальных N и w , поскольку на место первого главного расчетного случая по прочности явно выдвигался не момент времени $t=t_m$, когда давление в стволе достигает значения $p_{\text{max}} = p(t_m)$, а момент $t=t_{\text{вр}}$, когда давление составляет еще только $p_{\text{вр}} \approx 0,1 p_{\text{max}}$, но реакция и прогиб под пояском достигают максимальных значений: $N_{\text{max}} = N(t_{\text{вр}})$, $w_{\text{max}} = w(t_{\text{вр}})$. Момент же t_m , $p=p_{\text{max}}$ становится вторым и обязательно дополняется третьим расчетным случаем в момент $t=t_3$, когда реакция становится слишком малой, например $N(t_3) \approx 0,1 N_{\text{max}}$. Задача отыскания N_{max} , w_{max} была быстро решена на основе созданных теории и прибора по построению, так называемых «кривых врезания». Что касается причин преждевременных взрывов снарядов в канале ствола, то были установлены отмеченные выше два эффекта: «эффект трещины», если она возникает при N_{max} , и эффект «спички», т. е. воспламенения ВВ при скоростном проталкивании его через сжатую пояском зону снаряда.

Перечисленные методы проектирования, расчетные нормы приемки, различные для разных калибров и конструкций, были проверены отстрелами очень дефицитных в то время партий снарядов. В 1942 г. удивительно быстро пришли к согласию военные и промышленники на совместном пленуме Академии наук СССР, Арткома ГАУ и Министерства боеприпасов: новые взгляды на выстрел были приняты, методы расчетов, проектирования и технологии производства снарядов с отменой термообработки, как и новые нормы их военной приемки, стали законом. «Снарядный голод» резко пошел на убыль, даже сменялся изобилием, при котором только и возможны операции типа Сталинградского артиллерийского кольца.

Мои заботы, однако, не улеглись, а заменились новыми: «внедрить» в умы и ощущения военных и гражданских инженеров, что такое $N_{\max}$, $w_{\max}$, «несущая способность снаряда», почему вдруг такое сильное снижение норм приемки, отмена термообработки (кстати, одна она давала экономию десятков тысяч тонн жидкого топлива), шлифовки, Словом, теперь я опять еду в Тулу, лечу в Нижний Тагил (поговорить с инженерами и посмотреть штамповки корпусов), в Самарканд в Артиллерийскую академию, где я читаю лекции военным инженерам (1942 г.).

В 1947 г. меня пригласили во вновь организованный ракетный центр НИИ-88 в подмосковном городе Калининграде (теперь это ЦНИИМАШ, вроде ракетного ЦАГИ) и вскоре назначили его научным руководителем (заместителем начальника по науке).

Заведующим конструкторским отделом НИИ-88 был С. П. Королев, членами Совета – М. К. Тихонравов, Ю. Л. Победоносцев ...

Имея в голове образ ЦАГИ, я стал создавать теоретико-экспериментальные отделы динамики (устойчивости и управления), прочности (с оригинальным стендовым залом) и аэродинамики, пригласив в них известных заведующих кафедрами профессоров МГУ (Н. Д. Моисеев, Г. Н. Дубошин – по небесной механике, Х. А. Рахматулин – по аэродинамике, В. М. Панферов и вскоре А. В. Кармишин – по прочности, Краснушкин – по радиофизике) и способных научных работников из молодежи. Почти все научные направления предстоящего развития НИИ-88 мне были ясны. Стоял только один вопрос – как быть с аэродинамическими расчетами, с экспериментальным определением аэродинамических коэффициентов сил и моментов ракет при больших числах

Маха, скажем $M > 3$ (а надо $M \gg 6...$), если сверхзвуковые аэродинамические трубы для $M=3$ очень малого диаметра в то время (1947 г.) были только в МГУ да ЦАГИ? Начались мои газодинамические поиски теоретического решения в лагранжевой системе координат.

Весной 1947 г. я сформулировал и доказал закон плоских сечений в аэродинамике больших сверхзвуковых скоростей, приводящий пространственную задачу к плоской, а для экспериментаторов давший метод аффинной модели. Этот закон казался некоторым настолько неестественным, что специально собравшаяся комиссия, состоявшая из бывшего тогда проректором МГУ всемирно известного математика И. М. Виноградова, М. В. Келдыша и моего оппонента Л. И. Седова, убеждала меня, что этого закона не может быть (впрочем, И. М. Виноградов молчал, М. В. Келдыш не спешил с выводом, Л. И. Седов же утверждал, что ввиду существования лобового сопротивления этот закон противоречит закону сохранения импульса для системы тело–воздух). В 1947 г. в НИИ-88 закон сразу использовали для экспериментально-теоретического определения сверхзвуковых аэродинамических коэффициентов: была построена теория панельного флаттера, вскоре закон был принят в ЦАГИ как ничему не противоречащий.

Но создавать «нечто вроде ракетного ЦАГИ» – дело большого коллектива людей, требующее много времени. Меня захлестнуло множество организационных вопросов, а это уже не моя профессия. Я сказал весной 1950 г. об этой беде С. В. Кафтанову. И вот с марта 1950 по март 1952 г. я – ректор Ленинградского университета. Новая встреча с Б. Л. Ванниковым весной 1952 г. окончилась моим назначением в Арзамас-16 заместителем Ю. Б. Харитона. Там не было суматохи и организационных хлопот, можно было

спокойно работать. Мы с Н. Н. Боголюбовым и М. А. Лаврентьевым (с ними я хорошо был знаком по МГУ и Киеву 1944–1950 гг.) после перенапряженного дня настоящей теоретико-экспериментальной работы ходили в театр и в гости друг к другу, отдыхали: Н. Н. был великий знаток и мастер приготовления кофе, М. А. подбирал коньяки, ну а я с помощью своего ученика готовил различные шашлыки. Но утро всегда находило нас в рабочих кабинетах и лабораториях. И. В. Курчатов – верховный руководитель всех работ – в наших встречах не участвовал. За время работы в Арзамасе-16 я вместе с 2–3 руководителями других направлений работ по атомным производствам три раза встречался с Л. П. Берия. Он глубоко вникал в тему разговора, интересовался обеспечением работ промышленностью. Но был непреклонен в изменении, особенно удлинении сроков изготовления изделий: сделаете в срок – «всем будут награды», не сделаете – «будет всем тюрьма». Сроки выполнялись. Меня миновали и тюрьма, и награды (не считая мелочей). Мне не совсем нравилось ученое общество в Арзамасе.

Когда решался вопрос о новом мощном изделии, А. Д. Сахаров был инициативным неопределенным сторонником термоядерного варианта, я также определенно и активно поддерживал этот вариант. Ю. Б. Харитон и его сторонники возражали, считая, что необходимую мощность можно достигнуть на увеличенной конструкции обычной атомной бомбы. Но это было неперспективно. Победил вариант Сахарова, хотя сам он был где-то в тени или даже отсутствовал на решающем совещании (он был еще молодым доктором). Вел встречу, если я не ошибаюсь, И. В. Курчатов. Итог известен.

1953 год, Сталин скончался, Берия смещен. Я с легким сердцем улетаю в Москву, где с помощью В. Н. Малина (бывшего секретаря Ленинградского горкома) встречаюсь с Н. С. Хрущевым, который рекомендует мне продолжить работу в Арзамасе.

В 1954 г. я был избран директором Института механики АН СССР*. Занимаюсь развитием ПСК и линейными механическими ускорителями (ЛМУ). ЛМУ представляет собой устройство, в котором создается линейное поле постоянного ускорения с коэффициентом перегрузки n от 1 до $0,5 \cdot 10^5$: вся механика на нем – как на Земле, только вес любого тела и частоты колебаний в n раз больше, а длины и времена в n раз меньше. На ПСК изучались динамические свойства металлов, выдвижение внутренних неоднородностей на поверхность; были испытаны модели многих конструкций; получено устойчивое движение масляной струи в следе снарядика, движущегося в воде со звуковой скоростью (1,5 км/с); выполнено перемешивание тяжелых и легких веществ при больших $n \sim 5 \cdot 10^3$; произведены подземные взрывы, моделирующие натуральные – около тысячи тонн тротила на глубине около 100 м с получением сферических неразрушенных полостей около 40 м в диаметре. Был построен ускоритель для $n=100$ со свободно падающим тяжелым ковшом диаметром около 0,8 м, глубиной около 0,6 м (в натуре соответственно 80 и 60 м). Интересно, что тяжелый ковш без малейших колебаний с 10-метровой высоты летел на ускоритель (тормоз), взлетая обратно, где улавливался. В ковше, например, делался в грунте канал с водой и в нем под водой взрывался детонатор с тротиловым эквивалентом в натуре около 0,3–0,5 т.; ускорение 100 g сохранялось постоянным

* Институт механики АН СССР образован в Москве в 1935 г.; в 1960 г. переименован в Институт проблем механики (ИПМ АН СССР).

около 0,25 с, т. е. около 25 с в натуре: скоростная съемка показывала очень натуральное разбегание волн по берегам канала и сдвигу перекрывающего канал блока, имитирующего бетонный мост. Этот ускоритель и до сих пор используется в Институте горного дела Киргизии для изучения взрывов в ущельях или на склонах. Переброска горных пород взрывом вполне натуральна, так как высота свободного падения тела в ковше $h=ngt^2/2 \approx 0,3$ (т. е. меньше 0,6 м) укладывается в высоту ковша. Это достаточно подтверждено в Киргизии на натуральных взрывах. А в Институте механики АН СССР и МГУ я занялся теорией подобия и моделирования динамических процессов на ЛМУ (в Ленинграде – термомеханических скоростных кузнечных процессов). Большой ЛМУ на $n=10^3$ был также построен, но не пущен на Моховой. Опыты были произведены на ПСК, о чем сказано в моей книге «Механика сплошной среды» (1990 г.). ЛМУ-100 и ЛМУ-1000 я отправил в Институт горного дела АН Киргизской ССР, где работы продолжил С. М. Попов (избранный действительным членом этой академии).

В Институте механики АН СССР впервые был создан вычислительный центр с приличными ЭВМ (50-е годы), создан ряд новых стендов и лабораторий, включающих газодинамическую с ударной трубой. Тогда там работали известные ученые: Н. Г. Четаев с учениками (теория устойчивости), В. З. Власов и А. Л. Гольденвейзер (прикладная теория оболочек и тонкостенных конструкций), В. В. Соколовский (пластичность), Б. Н. Юрьев (прикладная аэродинамика), П. Я. Кочина (прикладная гидродинамика, теория фильтрации), Ю. Н. Работнов

(ползучесть). Издавался известный журнал ПММ АН СССР, образован «Инженерный сборник», реорганизованный позже в журнал «Механика твердого тела». Создан научный Совет АН СССР по проблеме прочности и пластичности, сыгравший немалую роль в координации научных работ ВУЗов и отраслевых организаций.

В это же время в МГУ на Ленинских горах возводились новые лаборатории Института механики МГУ, где я интенсивно помогал строить стендовый зал с новыми силовозбудителями, динамическую лабораторию с рентгеносъемкой быстротекущих процессов и довольно мощной вакуумной камерой для взрывных работ, лабораторию механики полимеров и др. Словом, я оказался сидящим на двух стульях (если не больше) и снова очень уставал, главным образом от организационных дел, а годы мои приближались к 50, и число учеников и помощников все увеличивалось. Недовольство в Институтах механики МГУ и АН СССР росло. И вот на выборах на пост директора Института механики АН СССР на третий срок, вероятно, согласованных, а точнее predeterminedных в ЦК КПСС, я категорически отказываюсь быть директором. И не стал, и был исключен из «номенклатуры», так как после этого мне уже не предлагали «высокие посты».

Наступают шестидесятые годы, снова я на своей кафедре теории упругости МГУ. Предстоит этап оформления идей, создания теории упругопластических процессов, общей математической теории термовязкопластичности и термодинамики МСС с мерами необратимости и повреждаемости, пожалуй, моего основного вклада в механику.