АКАДЕМИЯ НАУК СССР

А. Н. БОГОЛЮБОВ

СОВЕТСКАЯ ШКОЛА МЕХАНИКИ МАШИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1975

Книга посвящена истории становления и развития советской школы механики машин (теории механизмов и машин), в частности творческому пути ее организатора и руководителя академика И. И. Артоболевского. Показаны корни советской школы механики машин, унаследовавшей лучшие традиции русских ученых-машиноведов и механиков, развитие советских исследований по теории механизмов, значение работ советской школы механики машин в мировой науке.

Б $\frac{20301-054}{054\ (02)-75}$ 31-75НП

© Издательство «Наука», 1975 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемой работе делается попытка показать историю становления и развития советской школы теории механизмов и машин (механики машин), одной из самых больших научных школ, пользующихся заслуженным мировым авторитетом, и дать краткую научную биографию ее организатора и бессменного руководителя Героя Социалистического Труда академика Ивана Ивановича Артоболевского — учителя десятков тысяч советских машиностроителей.

Иван Иванович Артоболевский, 70-летию которого посвящена эта книга, всю свою жизнь работал над созданием науки о машинах, неразрывно связав с ней свою научную, общественную и организаторскую деятельность.

Наука о машинах, становление которой было обусловлено событиями промышленного переворота XVIII в. и история которой на протяжении XIX в. связана с развитием машинной техники, порождает в XIX—начале XX в. целый ряд технических наук. Излагая историю советской школы теории механизмов и машин, автор стремился подчеркнуть неразрывную связь между научным творчеством ее главы И. И. Артоболевского и деятельностью великого русского механика, отца русской авиации, по выражению Ленина, — Н. Е. Жуковского, другими словами, показать преемственность идей, преемственность мыслей — показать, как высказанная однажды и затем основательно забытая мысль может послужить причиной нового взрыва в науке, послужить началом нового пути, конца которому нет. . .

Советская школа теории механизмов и машин, прямой и непосредственный наследник лучших традиций русской науки, ведущая свой род от воспитанников Московского университета — основателя русской математики П. Л. Чебышева и основателя русской механики Н. Е. Жуковского, родилась в предвоенные годы индустриализации страны, становилась на ноги и набирала силы

в годы Великой Отечественной войны, в послевоенный период. Современная научно-техническая революция обусловила новое содержание теории механизмов и машин: наука, сохраняя свое фундаментальное значение, становится непосредственной производительной силой.

Автор хотел адресовать свою книгу советским специалистам в области теории механизмов и машин, непосредственным ученикам и ученикам учеников И. И. Артоболевского и побудить тем самым их к дальнейшей работе и дальнейшим свершениям в этой важной области народного хозяйства.

При написании книги были использованы как литературные источники, так и ряд архивных материалов частного хранения, в том числе автобиографические записки И. И. Артоболевского.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

РУССКАЯ ШКОЛА МЕХАНИКИ МАШИН

У истоков русских работ по теории механизмов и машин как, впрочем, и в основе многих иных направлений математики и механики, лежит научное творчество П. Л. Чебышева — основателя Петербургской математической школы. В 1853 г. Чебышев опубликовал (на французском языке) мемуар «Теория механизмов, известных под именем параллелограммов», в котором впервые в мировой литературе для решения задач по теории механизмов применил математические методы. Более того, в этой работе были заложены основы аналитических методов приближенного синтеза механизмов и разработан для этой цели математический метод наилучшего приближения функций полиномами. Интерес к шарнирным механизмам Чебышев пронес через всю свою жизнь. Он не только исследовал механизмы, но и сам конструировал их, причем весьма искусно.

Пафнутий Львович Чебышев был воспитанником Московского университета, где учился у Н. Д. Брашмана, талантливого педагога, одного из основателей Московского математического общества. У Брашмана же несколькими годами раньше учился другой выдающийся русский механик И. И. Сомов. Сомов и Чебышев оказали большое влияние на возникновение в России исследовательского направления в области теоретической и прикладной механики. В числе их учеников был сын Сомова П. И. Сомов, который развил структурные идеи Чебышева, кинематические идеи И. И. Сомова и некоторые геометрические идеи в области теории механизмов, высказанные немецким геометром и машиноведом Людвигом Бурместером.

Теория механизмов как самостоятельная отрасль науки возникла на рубеже XVIII и XIX вв. Сначала она была наукой описательной, и лишь после работ Чебышева и Бурместера в нее начинают проникать математические методы — элементы анализа, аналитическая, начертательная и проективная геометрия. В последней четверти XIX в. оформилась как отдельное научное направление кинематическая геометрия, история которой не была лишена драматизма: начало ее было заложено в трудах великих механиков XVII в. Роберваля, Паскаля, Мерсенна, и на протяжении более 200 лет она развивалась на стыке геометрии и механики, решая задачи, практическая необходимость которых была

весьма проблематичной. Возникнув как следствие промышленного переворота XVIII в., теория механизмов на протяжении всего следующего столетия пыталась классифицировать механизмы, шел поиск общего метода решения ее задач. Одновременно развивались теории зубчатых зацеплений и шарнирных механизмов; в связи с классификационными методами это дало кинематику механизмов.

Переход к производству машин машинами — последний этап промышленного переворота — стал возможным лишь после создания универсального индустриального двигателя — паровой машины. На протяжении всего XIX в. паровая машина остается основным двигателем промышленности, железнодорожного и водного транспорта, и на базе ее изучения возникает другая область теории механизмов и машин — динамика машин. Таким образом получили теоретическую базу передача и машина-двигатель; машина-орудие так и не дождалась создания своей теории в XIX в.

В третьей четверти XIX в. ученые интенсивно работают над созданием графических методов для исследования статических конструкций. Это направление коснулось и машиноведов: в последней четверти века появляются графические методы исследования в кинематике механизмов. Несколько ранее возникла графоаналитическая теория маховика, а развернувшееся к концу века строительство высокоскоростных паровых транспортных машин — паровозов — привлекло внимание к изучению сил инерции.

Таковы основные вехи развития теории механизмов и машин в XIX столетии. Наука развивалась вместе с машиностроением, но никак не могла его догнать. Правда, она выработала ряд серьезных рекомендаций, которым следовали конструкторы, но их было немного, и, кроме того, они были всего лишь обобщением опыта машиностроения. Идеи синтеза механизмов после Чебышева не разрабатывались; попытки Рело и Бурместера в этом направлении не дали ничего существенного, и к началу XX в. интерес инженеров к науке о машинах заметно остывает. На вопрос, сможет ли теория механизмов и машин дать что-либо практическому машиностроению, многие машиноведы ответили отрицательно.

В конце XIX в. в России наметилось три исследовательских направления в области теории механизмов и машин. В Петербурге и в некоторых других городах работали ученики П. Л. Чебышева, которые занимались преимущественно вопросами кинематики механизмов. Кинематикой механизмов и кинематической геометрией занимались в Одессе В. Н. Лигин и его ученики Х. И. Гохман, И. М. Занчевский, Д. Н. Зейлигер. В Москве, в Московском университете и в Московском высшем техническом училище, Н. Е. Жуковский создал школу, а вернее, несколько школ в области прикладной механики. Одной из них была школа теории механизмов и машин (механики машин).

Николай Егорович Жуковский был не только великим ученым, но и замечательным педагогом и инженером. Он обладал даром технического предвидения: чувствовал важнейшие направления в развитии прикладных наук и в соответствии с этим ориентировал своих учеников, которых у него было немало.

П. Л. ЧЕБЫШЕВ

Вся деятельность Жуковского была связана с Москвой. Осенью 1864 г. он был принят в Московский университет на физико-математический факультет. Еще на студенческой скамье заинтересовался математикой и механикой и по рекомендации астронома М. Ф. Хандрикова был принят в кружок любителей математических наук. Кружок этот был организован по инициативе Н. Д. Брашмана и с сентября 1864 г. стал называться Московским математическим обществом.

В университете Жуковский слушал Н. Д. Брашмана, А. Ю. Давидова, В. Е. Цингера, Ф. А. Слудского, Н. Е. Бугаева. Благодаря тому, что научные интересы Брашмана и Давидова лежали в области механики, в Московском университете больше занимались прикладными вопросами, и тем он отличался от Петербургского университета, где существенное развитие получили тогда вопросы чистой математики.

В 1868 г. Жуковский окончил университет и в том же году подал прошение о зачислении на второй курс Института путей сообщения в Петербурге. Однако материальные обстоятельства и состояние здоровья не дали возможности продолжать занятия: уже в 1869 г. он вынужден был оставить институт и в конце 1870 г. поступил преподавателем физики во 2-ю Московскую женскую гимназию. Но даже краткое пребывание в техническом учебном заведении не прошло даром: у Жуковского пробудился интерес к прикладной механике. В письмах к своему товарищу М. А. Щукину он замечает: «... я все-таки несколько подзапасся здоровьем и поэтому теперь думаю начать положительно заниматься практической механикой, чтобы с сентября держать магистерский экзамен... Я буду держать экзамен по прикладной механике» (январь 1870).

«...Теперь я дал себе слово серьезно заниматься и отложил на время выполнение всевозможных выдумок, на которые истрачивается немало времени. Прежде всего нужно знание и знание;

я убедился, что всевозможные мои машины (а их накопилась порядочная куча) — и нивелировочная, и филейная, и чулочная — имеют пока схематическое существование и для приведения их в исполнение нужно иметь более практического знания, нежели имею я» (апрель 1870).

В феврале 1871 г. Жуковский начал сдавать магистерские экзамены: 9 февраля — практическую механику, 6 марта — теоретическую механику, 22 апреля — чистую математику. В конце апреля 1871 г. он пишет: «Для устройства судьбины еще не имею никаких данных; первые летние месяцы думаю ничего не делать, а там займусь диссертацией; много надо будет прочесть по новой механической литературе, в которой я оказываюсь слаб... Вообще, с теоретической стороны я еще маракую по механике, но в практическом отношении даю немалые промахи, и неоднократно забредают в голову невыполнимые проекты».

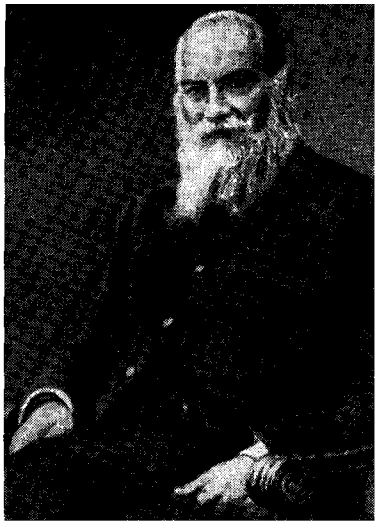
С 1 января 1872 г. по рекомендации профессора Летникова Н. Е. Жуковский получил место внештатного преподавателя Московского высшего технического училища. Одновременно он начал читать практическую механику в Московской практической академии коммерческих наук (среднее учебное заведение), работал в женской гимназии и читал физику на женских курсах.

Настроение у Жуковского улучшилось. Он даже начинает улыбаться: «Педагогические занятия мне приносят некоторое развлечение, — пишет он Щукину, — в особенности весело читать в женской гимназии. Гимназистки у меня очень старательно учатся...»

В 1874 г. по рекомендации Ф. Е. Орлова Жуковский был утвержден доцентом по кафедре аналитической механики в Высшем техническом училище.

Ф. Е. Орлов, ученик А. С. Ершова и старший товарищ Н. Е. Жуковского, преподавал в Московском университете и в Московской практической академии коммерческих наук с 1872 г. В сущности возникновение дисциплины «прикладная механика» в Москве начинается именно с деятельности Орлова. Как писал позже Жуковский, «...в Московском университете преподавание практической механики было поставлено Орловым на ту высоту, на которой оно не стоит ни в одном из русских университетов. Я помню, как одобрительно отозвался председатель экзаменационной комиссии В. Г. Имшенецкий, встретив в ответах студентов по специальным курсам практической механики такие обширные знания, которые можно было ожидать только от воспитанников специальных технических школ. Орлов поощрял студентов заниматься его предметом. Он устроил в университете прекрасный механический кабинет, завел классы черчения и проектирования. Он всегда охотно сообщал занимавшимся у него студентам сведения для писания кандидатских сочинений, наделяя их даже книгами из своей библиотеки. Можно сказать, что почти половина кандидатских сочинений писалась в университете по практиче-

ской механике»[1]. Дружба Жуковского с Орловым во многом определила его дальнейший творческий путь: Орлов ввел его в Политехническое общество, состоявшее при училище, познакомил с московскими инженерами.



Н. Е. ЖУКОВСКИЙ

В 1876 г. Жуковский защитил магистерскую диссертацию «Кинематика жидкого тела» и в следующем году уехал за границу «для собирания материалов к продолжению изданного им сочинения по гидродинамике и ознакомления с чтением означенного предмета в политехнических школах Германии и Франции». В Париже он завязал личные знакомства с Морисом Леви, Резалем, Дарбу. Эти знакомства в определенной степени повлияли на расширение научных интересов Жуковского: он опять обращается к кинематике, которой занимался в первые послеуниверситетские годы.

По возвращении из-за границы в 1879 г. Жуковский назначается сверхштатным профессором механики в Московском техническом училище. В 1882 г. он защитил диссертацию «О прочности движения» на степень доктора прикладной математики и с 1886 г. начал читать лекции по аналитической механике в Московском университете.

В 1887 г. Жуковский был избран штатным профессором аналитической механики в Московском высшем техническом училище, а в 1894 г. — членом-корреспондентом Российской академии наук. В 1900 г. его кандидатура была выставлена для баллотировки в действительные члены Академии наук, однако он ее снял, поскольку в случае избрания ему пришлось бы переехать в Петербург, а он не хотел порывать с Московским университетом и Высшим техническим училищем, с которыми был связан почти четверть века.

В 1905 г. Жуковский избирается президентом Московского математического общества.

Основным направлением научной деятельности Жуковского была аэродинамика, которая в значительной степени создана его трудами. Его инженерные интересы привели к созданию летатель-

[1] *Н. Е. Жуковский.* Некролог и очерк деятельности Ф. Е. Орлова как профессора Московского университета. — В кн.: *Ф. Е. Орлов.* Дневник заграничной командировки 1869—1872 гг. М., 1898, стр. 338.

ных аппаратов тяжелее воздуха. В. И. Ленин недаром назвал его «отцом русской авиации» (впрочем, вклад Жуковского и в мировую авиацию также весьма существен).

При всем этом он не выпускал из поля зрения и других направлений прикладной механики, а теорией механизмов, как мы видели, занимался едва ли не с университетской скамьи, особенно интересуясь шарнирными механизмами. Жуковский принимал активное участие в работе Политехнического общества. В Политехническом музее, в Московском математическом обществе, в физико-математической комиссии Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии он прочитал ряд лекций по вопросам теории механизмов, в частности «О приборе Кемпа для решения числовых уравнений высших степеней», «О трении в машинах», «Планиграф Дарбу», «О рычажном дубликаторе Делоне», «О механизме Ассура» и др., и опубликовал свыше десяти работ по теории механизмов, в том числе «Распределение давлений на нарезке винта и гайки» (1902), «Сведение механической задачи о кинематической цепи к задачам о рычаге» (1909). Эта последняя работа, содержавшая знаменитую теорему о жестком рычаге Жуковского, завершала собой цикл исследований конца XIX—начала XX столетия немецких, английских, французских и русских ученых, сущность которых заключалась в создании стройной системы кинематического и статического (кинетостатического) исследования механизмов.

О замечательной инженерной интуиции Жуковского свидетельствует такой факт, приводимый В. В. Голубевым: «Молодой инженер, только что окончивший МВТУ, где он, между прочим, слушал лекции Николая Егоровича, попал инженером на завод в глухую провинцию, где посоветоваться и поучиться было не у кого. Как всегда бывает в таких случаях, он сейчас же почувствовал, что он многого не знает и опыта никакого не имеет. А тут еще, как на грех, на заводе случилась авария: у только что выписанной сложной заграничной машины сломался коленчатый вал, который завод своими силами исправить или заменить не мог. Надо было отправить вал далеко на большой завод или выписывать новый; на дворе стояла весенняя распутица, привезти вал быстро было нельзя, а каждый день простоя машины грозил заводу большими убытками. Молодой инженер совершенно растерялся и в полном отчаянии написал Николаю Егоровичу письмо с просьбой помочь ему, приложил схему машины и каталог завода, откуда машина была выписана... и с ближайшей почтой получил ответ...

Николай Егорович писал, что такой машины он никогда не видал, для чего она нужна, представляет неясно, разобрать по описанию в каталоге машины он не смог, но так как, судя по присланной схеме, в машине действуют такие-то и такие-то моменты, то он считает, что машину можно исправить очень просто: коленчатый вал надо вынуть, а действие его заменить такими-то и та-

ками-то шестеренками, которые они смогут сделать домашними средствами у себя на заводе...

Шестеренки были выточены, коленчатый вал был вынут, и к общему изумлению машина стала работать лучше, чем прежде»[1].

У Жуковского было редкое сочетание инженерной интуиции и педагогического мастерства. Одновременно он был и теоретиком, и практиком — умел наблюдать и умел поставить принципиально новый эксперимент. Его курсы были классическими по ясности и точности изложения, а в качестве образца внутренней красоты и собранности его теоретических рассуждений можно привести теорему о жестком рычаге.

Жуковский был убежден, что ученый, работающий в области прикладной механики, должен иметь глубокую механическую и математическую подготовку и не менее фундаментальную инженерную подготовку. Поэтому его ученики по окончании Московского университета завершали свое образование в стенах МВТУ. Таким путем пошли Л. В. Ассур, Н. И. Мерцалов, В. П. Горячкин, Д. П. Рузский и ряд других. Несомненно, что это благоприятно повлияло на качество работ молодых ученых. Интересно, что в первые два десятилетия XX в. исследовательские направления учеников П. Л. Чебышева, В. Н. Лигина и Н. Е. Жуковского весьма сблизились и с этого времени начала свою жизнь русская школа механики машин, в которой ученики Жуковского оказались в большинстве.

Одним из них был Николай Иванович Мерцалов. Уроженец Тулы он в 22 года, в 1888 г., окончил физико-математический факультет Московского университета и уехал в Германию. Здесь он поступил рабочим на машиностроительный завод и одновременно слушал лекции в Дрезденском высшем техническом училище. В 1892 г. возвратился на родину, через два года сдал в Московском университете магистерские экзамены и экзамены в Московском высшем техническом училище (экстерном), получив звание инженера-механика. В 1895 г. Жуковский пригласил Мерцалова в университет в качестве приват-доцента и хранителя кабинета прикладной механики; в 1897 г. по его же рекомендации Мерцалов был избран адъюнкт-профессором Московского технического училища по кафедре прикладной механики. До этого в течение двух лет, с 1895 по 1897 г., Мерцалов преподавал прикладную механику в Петровской сельскохозяйственной академии.

На рубеже XIX и XX вв. курс механики машин читался под различными наименованиями во всех технических учебных заведениях России. Назывался он прикладной механикой, технической механикой, практической механикой, теорией механизмов; никаких программ, стандартизирующих объем преподавания, не было, и в сущности каждый преподаватель строил курс по-своему.

---

[1] *В. В. Голубев.* Русские работы по механике и влияние их на развитие мировой науки. — Ученые записки МГУ, вып. 91. М., 1947, стр. 101.

Обычно он состоял из двух подразделов, посвященных кинематике механизмов и динамике машин, часто включал еще элементы деталей машин. За основу обычно принималась систематика Виллиса в одном из ее вариантов, дополнительно приводилась теория кинематических пар по Рело. Только в XX в. графические методы кинематики механизмов начали излагать по Мору, Смиту и Кеннеди, но так как обобщающей классификации не было, в сущности каждая задача требовала отдельного анализа.

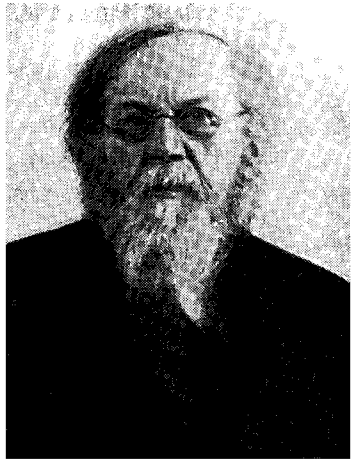
Курс, прочитанный Н. И. Мерцаловым в МВТУ, явился своего рода событием. В первой его части, озаглавленной «Общая теория механизмов», Мерцалов придерживался систематики механизмов Виллиса, но сделал обширное вступление, в котором привел общие методы исследования механизмов; при этом он использовал исследования Бурместера, Мора и других ученых. Таким образом он ввел в преподавание элементы кинематической геометрии и поставил курс теоретически на более высокий научный уровень, чем это было до него. Вторая часть курса «Общая теория машин» состояла из двух частей, посвященных изучению трения в машинах и динамическому исследованию плоских механизмов. Общая теория машин была совершенно новой дисциплиной и явилась образцом для составителей позднейших курсов. Своего научного значения работа Н. И. Мерцалова не потеряла и в настоящее время.

Осенью 1897 г. на физико-математический факультет Московского университета поступил Леонид Владимирович Ассур и быстро попал под влияние Жуковского; в 1901 г. Ассур окончил университет со званием кандидата и сразу же подал заявление о приеме в МВТУ на второй курс механического отделения. Здесь он слушал прикладную механику у Мерцалова, и последний несомненно оказал на него влияние: Ассур начал заниматься задачами динамики машин, а от них перешел к проблемам кинематики (и кинетостатики) плоских шарнирных механизмов.

Кроме Мерцалова в МВТУ в те годы педагогическую работу вели еще несколько учеников Жуковского, в частности А. И. Сидоров и Л. П. Смирнов. А. И. Сидоров (1866—1931) окончил физико-математический факультет Московского университета и механическое отделение МВТУ. В 1897 г., одновременно с Н. И. Мерцаловым, он был избран адъюнкт-профессором училища. Он читал (с 1891 г.) сопротивление материалов и детали машин и, кроме того, для механиков общий курс введения в машиностроение, в котором излагал общие принципы проектирования машин и их частей. Л. П. Смирнов (1877—1954) по окончании в 1897 г. МВТУ по рекомендации Н. И. Мерцалова был оставлен при кафедре. Он занимался исследованиями паровой машины и связанными с этим вопросами кинематики и динамики механизмов. Одной из первых работ, предпринятых им в МВТУ, было исследование шарнирных механизмов. Он решил провести исследование кинематики и динамики многозвенных шарнирных механизмов и найти общие графические методы кинематики и кинетостатики; в сущности

это была та задача, которой несколько позже занялся Л. В. Ассур.

В 1906 г. Ассур окончил МВТУ со званием инженера-механика и вскоре переехал в Петербург. С 1908 г. он начал вести педагогическую работу в Петербургском политехническом институте — сперва практические занятия по курсу теоретической механики, а затем прикладной механики, курс которой читал В. П. Кирпичев.



Н. И. МЕРЦАЛОВ

Кирпичев, ученик И. А. Вышнеградского и член его «пентагонального» общества, был инженером с очень широким диапазоном научных интересов, кроме того, он был энтузиастом высшего технического образования — известна его роль в деле организации Харьковского технологического, Киевского и Петербургского политехнических институтов. И он был замечательным педагогом. Его классическая трилогия «Беседы о механике», «Основания графической статики» и «Лишние неизвестные в строительной механике» до сих пор сохранила свою свежесть; книги эти явились результатом бесед, которые он проводил со своими учениками. Тесному кружку своих учеников он читал теорию эллиптических функций, вариационное исчисление, оптическое изучение деформаций, уравновешивание машин, теорию регуляторов и др.

После его смерти прикладную механику в Политехническом институте читали А. А. Радциг, Л. В. Ассур, Д. П. Рузский, А. К. Зайцев, Е. Г. Харитонович, практические занятия проводили также К. Э. Рерих, В. Э. Классен, Н. А. Рынин.

Кирпичев был энтузиастом техники. В одной из своих речей он сказал, что «инженеры обязаны заботиться о красоте своих сооружений, а потому они должны получать и художественное образование... Это указывает состав инженерного образования: нужно начинать с чистой науки, но в то же время не оставлять без внимания и художества». Это его замечание явилось своеобразным прогнозом, основанным на глубоком проникновении в сущность машиностроения. В то время из инженерных наук лишь за одной архитектурой сохранялись права искусства, а о возможности внедрения искусства в машиностроение еще не было и речи: основы дизайна зародились значительно позже, а техническая эстетика и до сих пор преподается не всегда и не везде.

Кирпичев писал: «На многих одно слово машина производит самое удручающее впечатление. Она рассматривается как темная сила, с которой нельзя бороться, которой человек должен служить как идолу, требующему иногда человеческих жертв. Один автор [Куприн], описывая завод, говорит: «Машины царили всюду, и около них жалкими казались эти угрюмые люди». Сделаем еще шаг по пути этих взглядов и придется вспомнить сказку, рассказанную у Рело, про дальнейшую будущность человеческого рода, а именно: усовершенствование машин дошло до того, что они взбунтовались против людей, поработили их и заставили служить себе.

Такие взгляды не могут разделяться инженерами, которые сами делают машины и другие сооружения, заводы, железные дороги, воплощая свои творческие замыслы в формы, сделанные из железа и камней. Ведь мысль, превратившаяся в дело, в факт, не может производить удручающее впечатление, а, напротив того, самое светлое и радостное. Инженер никогда не согласится считать машину или каменную постройку господином, которому должны служить люди как идолу, или допустить, что иногда необходимы жертвы этому чудовищу. Мы — господа, а машины — наши слуги, и кто сомневается в этом, тем я посоветую посмотреть действие машины, называемой сервомотор, т. е. порабощенный двигатель» [1].

Ректором Петербургского политехнического института и заведующим кафедрой теоретической механики был И. В. Мещерский, один из создателей динамики тела переменной массы. Мещерский полагал, что в технической высшей школе курсы теоретической и прикладной механики должны быть тесно связаны между собой. Теоретическая механика должна служить пропедевтикой прикладной и знакомить с практическими приложениями последней: это облегчит учащимся усвоение в дальнейшем курсов теории механизмов, сопротивления материалов, деталей машин, строительной механики. Такое понимание роли теоретической механики отразилось и на характере задач знаменитого «Задачника», в создании которого, кроме Мещерского, принимали участие Л. В. Ассур, И. И. Бентковский, А. А. Горев, К. М. Дубяга, В. Ф. Миткевич, Е. Л. Николаи, К. Э. Рерих, Д. Я. Тагеев, В. В. Таклинский, А. И. Тудоровский, Л. К. Федерман, В. Д. Шатров. Сам Мещерский проверил вместе с автором решение каждой задачи. Задачник в течение 1907—1910 гг. был несколько раз издан литографским способом; первое типографское издание вышло в свет в 1914 г.

Л. В. Ассур принял самое деятельное участие в кружке Кирпичева. Он прочитал доклады (на темы своих работ) по кинематике механизмов. Некоторые идеи этих работ, посвященных ана-

---

[1] *В. Л. Кирпичев.* Vivat Crescat. Floreat. Речь, произнесенная 31 августа 1898 г. — В кн.: Сборник материалов по истории возникновения Киевского политехнического института. Киев, 1914, стр. 29, 31.

логам ускорений, вошли впоследствии в классическое произведение Ассура «Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации», которое публиковалось в Известиях ЛПИ с 1914 по 1918 г. Здесь Ассур развил свое учение о структуре и классификации механизмов, разработал применительно к этой классификации графический метод определения скоростей механизмов и графостатику плоских многозвенных механизмов.

Л. В. АССУР

Теперь нам придется возвратиться в Москву XIX столетия.

В начале второй половины XIX в. в Московском обществе сельского хозяйства возникла идея устройства высшего сельскохозяйственного учебного заведения, которое было бы доступно для лиц всех сословий и готовило кадры специалистов сельского хозяйства для частновладельческих имений и правительственных учреждений. Так возникла сельскохозяйственная академия, для которой в 1864 г. было приобретено подмосковное имение Разумовских — Петровско-Разумовское. После необходимых строительных работ 21 ноября (ст. ст.) 1865 г. Петровская академия была открыта.

Сперва она не имела строгого устава высшего учебного заведения: не было экзаменов — ни вступительных, ни переходных, ни окончательных. Учащиеся могли прослушать полный курс наук или только отдельные курсы по своему выбору. Только лица, окончившие гимназию или иное среднее учебное заведение, получали после окончания академии дипломы кандидата и магистра сельского хозяйства и лесоводства.

В 1878 г. академия была преобразована в высшее учебное заведение. Был установлен четырехлетний срок обучения, слушатели стали называться студентами со всеми вытекающими отсюда правами и обязанностями: в академию принимались лица, имеющие законченное среднее образование. Были организованы практические занятия.

В 1890 г. устав академии был опять подвергнут переработке — поступающие должны были иметь предварительную практику в сельском хозяйстве. Была повышена плата за право учения (введенная в 1878 г.); лица, окончившие академию, получали звание агрономов первой и второй степени.

В 1893 г. академия была закрыта, а на ее базе в 1894 г. организован Московский сельскохозяйственный институт с двумя отделениями — сельскохозяйственным и сельскохозяйственно-инженерным. В том же, 1894 г. департаментом земледелия был командирован в Германию и Францию выпускник Высшего технического училища, ученик Жуковского, Василий Прохорович Горячкин для подготовки к преподаванию в Московском сельскохозяйственном институте курса «Учение о сельскохозяйственных машинах и двигателях».

Выше отмечалось, что основная составляющая системы машин — машина-орудие — в XIX в. не получила своей теоретической базы. Основы теории машин-орудий были заложены уже в XX в. Горячкиным.

В. П. Горячкин родился в Москве в семье бывшего крепостного крестьянина П. И. Горячкина, мастерового Выксунского завода. Во время постройки Николаевской железной дороги, соединившей Петербург с Москвой (по проекту замечательного русского инженера П. П. Мельникова, кстати сказать, читавшего в 1833—1856 гг. в Петербургском институте инженеров путей сообщения прикладную механику), Прохор Иванович Горячкин был отпущен на оброк и работал слесарем в Московских железнодорожных мастерских, затем помощником главного механика и главным механиком.

Василий Прохорович Горячкин по окончании 2-й Московской гимназии поступил на физико-математический факультет Московского университета, где и встретился с Н. Е. Жуковским. Поэтому и путь его был тем же, что и у других учеников Жуковского: по окончании университета он поступил в Высшее техническое училище, которое окончил в 1894 г., продолжая учиться у Жуковского.

Командировка за границу, которую Горячкин получил от департамента земледелия, не принесла большой пользы: учения о сельскохозяйственных машинах в Германии и Франции не было, поэтому нужно было начинать самому. Но ученики Жуковского умели ставить проблему, и у них было достаточно знаний, чтобы пытаться найти ее решение.

Вся наука о сельскохозяйственных машинах в конце XIX в. заключалась в описательном машиностроении. Это не было бедой только сельскохозяйственных машин, просто не существовало теории рабочих машин — не знали как к ним подойти. Действительно, динамика машин изучала паровую машину, поскольку ее кинематика была достаточно простой и исследование иногда принимало философский оттенок — здесь было о чем рассуждать. Существовало и учение о механизмах. Монж и Бетанкур выяснили понятие механизма, Виллис нашел его механическую сущность, Чебышев — его математическое решение, а Рело обнаружил, что сущность механизма состоит не в физической весомости его звеньев, а в связующей их пустоте — паре.

Нельзя сказать, чтобы не было попыток создать теорию рабочих машин. На протяжении последней четверти XX в. было предложено несколько частных теорий — дробления камня, резания металлов, но все это не могло составить какой-либо общей теории. С этим обстоятельством и пришлось столкнуться Горячкину: теоретические изыскания в области технологии, ожесточенные споры между машиноведами (Рело, Бурместером, Риттерсхаузом и другими) о сущности машины, попытки создать общую теорию машин на базе все той же паровой машины; но как только дело доходило до технологических машин, все останавливалось на описательном машиноведении.

В 1896 г. Горячкин раньше намеченного срока вернулся из-за границы и был назначен исполняющим обязанности адъюнкт-профессора Московского сельскохозяйственного института по кафедре учения о сельскохозяйственных машинах, орудиях и двигателях. Характерно, что первая его статья была о графической теории плуга.

Годы 1900—1903 посвящены у Горячкина глубокому изучению конструкций существующих сельскохозяйственных машин. Он принимает участие в издании «Полной энциклопедии русского сельского хозяйства». Им написано для этого издания 29 статей, являющихся в сущности маленькими монографиями, в которых отразился диапазон научных интересов автора. В 1904 г. он издает в литографированном издании «Общий курс земледельческих машин и орудий», затем серию «Очерков сельскохозяйственного машиностроения» и ряд книг, посвященных отдельным машинам. Это уже не описательное машиностроение, а попытки создать теорию машин. Горячкин участвует в испытаниях сельскохозяйственных машин, ставит ряд опытов, причем из-за отсутствия лаборатории — у себя на квартире.

Интересно провести некоторую параллель в творчестве Жуковского и его ученика.. Центральной идеей Жуковского была теория крыла — решение этой задачи было вместе с тем решением задачи построения аппаратов тяжелее воздуха. Аналогичной идеей Горячкина стала теория отвала — решение вопроса о форме отвала положило в сущности начало той науке, которую Горячкин назвал земледельческой механикой и которая стала первым опытом создания теории рабочих машин. Большое разнообразие конструкций сельскохозяйственных машин, соответствующее многообразию решаемых ими технологических задач, не явилось тормозом для создания новой науки, а скорее оказалось благоприятствующим фактором.

Уже в первых своих монографиях Горячкин не только описывает машины, а дает некоторые теоретические обоснования их устройства и работы, а также намечает программу дальнейшего их исследования. В работах «Теория жатвенных машин» (1909), «Отвалы плугов (основы построения сельскохозяйственных машин и орудий)» (1910), «Основы построения сельскохозяйствен-

ных машин и орудий», «Принцип механического подобия и однородности» (1914) и в ряде других он углубляет тему. В 1913 г. издает обширную библиографию: «Опыт перечня книг по земледельческой механике» и атлас конструкций уборочных машин «Косилки, жнеи, сноповязалки». Характерно, что бо́льшую часть тиража закупила американская фирма «Международная компания жатвенных машин» и пригласила автора на работу в Соединенные Штаты. Горячкин отказался, хотя на родине ему в полном смысле слова приходилось работать в одиночку, без какой бы то ни было помощи со стороны властей. Лишь в 1913 г. Горячкину удалось организовать при Сельскохозяйственном институте Машиноиспытательную станцию.

В 1918 г. Московский сельскохозяйственный институт был преобразован в Петровскую сельскохозяйственную академию; В. П. Горячкин был избран председателем совета профессоров академии, в 1919 г. — ректором академии, а в 1921 г., в связи с реорганизацией управления академии, — членом Революционной тройки Главпрофобра по управлению Петровской академией. В том же, 1921 г. по его инициативе в составе академии был организован инженерный факультет. В 1923 г. академия получила новое наименование — Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева.

При организации инженерного факультета были созданы новые кафедры; заведующим кафедрой практической механики Горячкин пригласил Н. И. Мерцалова.

Несмотря на тяжелое положение страны, в академии была создана обстановка, благоприятствующая научной работе. В 1919 г. Горячкин издал первую часть «Земледельческой механики». Это была не только первая попытка дать основные положения теоретической и прикладной механики в применении к сельскохозяйственным машинам — в монографии были заложены основы теории рабочих машин вообще и поэтому ее значение не ограничивалось лишь сельским хозяйством. За «Земледельческой механикой» последовали изыскания В. П. Горячкина в области теории плуга.

Одним из наименее разработанных вопросов кинематики механизмов в 20-х годах была теория пространственных механизмов. В сущности были решены лишь отдельные задачи, а попытка общего решения (в частности, предпринятая Бурместером) оканчивалась неудачей. Вместе с тем в некоторых направлениях машиностроения, и в том числе в сельскохозяйственном, пространственные механизмы играют чрезвычайно важную роль. В связи с этим Н. И. Мерцалов в курс теории механизмов ввел раздел, посвященный пространственным механизмам, и осенью 1921 г. впервые прочел его на инженерном факультете Сельскохозяйственной академии. Был также организован соответствующий семинар, на котором выполнялись практические работы по материалам лекций.

При изложении теории пространственных механизмов Н. И. Мерцалов пользовался методом проекций Монжа и рекомендовал слушателям предварительно изучить проективную геометрию. Свой курс он начинал исследованием скоростей отрезка в пространственном движении. Затем излагалось движение системы в пространстве, общий и частный случай, понятие об оси мгновенного вращения, формулы Эйлера для скоростей и ускорений, понятие об аксоидах, определение ускорений точек твердого тела в общем случае его движения в пространстве, теорема Кориолиса и исследование пространственного семизвенного механизма и его модификаций. Мерцалов непрерывно изменял и совершенствовал курс и пополнял его задачами, связанными с теорией сельскохозяйственных машин.

В. П. ГОРЯЧКИН

Двадцатые годы по праву можно назвать героическим периодом становления советской науки. По всей стране организуются новые высшие учебные заведения: в Нижнем Новгороде, Екатеринбурге (Свердловске), Владивостоке, Иркутске, Минске, Ташкенте, Тифлисе, Еревани и в других городах. Возникает Московская математическая школа, руководимая Н. Н. Лузиным, Петроградская физическая школа, руководимая А. Ф. Иоффе, математические школы в Киеве, Тифлисе, Ташкенте и многие другие. Можно говорить и о русской школе в области теории механизмов и машин: ученики Чебышева, Жуковского и Лигина значительно продвинули вперед исследования в области механики машин, хотя пока еще не было общего метода, который бы связал воедино различные работы. Продолжались поиски систематики механизмов. А. П. Малышев развил теорию кинематических пар и вывел уравнение подвижности для общего случая пространственных механизмов (формула Сомова—Малышева). Одним из первых он начал работать над вопросами синтеза механизмов.

В первой половине 20-х годов началось становление советского машиностроения, и учение о машинах в те годы было одним из важнейших его определяющих. Ведущие ученые включились в интенсивную работу над проблемами теории механизмов — В. П. Горячкин, Н. И. Мерцалов, А. П. Малышев, Л. Б. Левенсон, Л. П. Смирнов и др. Кроме традиционных геометрических мето-

дов отдельные задачи теории механизмов решаются методом теории функций комплексного переменного; разрабатываются винтовое исчисление и кинематическая геометрия.

В 1925 г. А. В. Верховский проводит теоретическое исследование пространственного шарнирного четырехзвенника с непересекающимися осями (механизм Боннета). В Одессе идеи П. О. Сомова в области структуры механизмов начал развивать Н. С. Васильев.

Повышение интереса к проблемам теории механизмов происходило не только в СССР. В Германии в эти годы также наблюдалось своеобразное возрождение науки о машинах. После работ Виттенбауэра по кинетостатике (1922) начаты были исследования в области синтеза механизмов (Грюблер, Альт). Ряд работ был выполнен в Австрии, Чехословакии, Франции, Англии.

В конце 20-х годов проблемами теории механизмов и машин начал заниматься выпускник Тимирязевской сельскохозяйственной академии Иван Иванович Артоболевский, ставший впоследствии признанным организатором и руководителем советской школы теории машин.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СТАНОВЛЕНИЕ УЧЕНОГО. ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Иван Иванович Артоболевский родился 9 октября 1905 г. в семье преподавателя Московского коммерческого училища Ивана Алексеевича Артоболевского.

Иван Алексеевич Артоболевский происходил из крестьян. Его дед Семен Семенович, крепостной села Проказна Пензенской губернии, по распоряжению помещика был определен в церковноприходскую школу, а по окончании ее назначен священником в то же село. Алексей Семенович, сын Семена Семеновича, окончил духовную семинарию и был приходским священником в Пензе, умер он в 1909 г.

Иван Алексеевич Артоболевский окончил Пензенскую семинарию с золотой медалью, затем учился в Московской духовной академии. Окончив ее со степенью кандидата, он получил назначение в Вифанскую духовную семинарию (под Загорском), где читал историю Ветхого завета и древнееврейский язык, который изучил в совершенстве. Здесь началась у Ивана Алексеевича большая дружба с известным историком В. О. Ключевским, который был родом из того же села Проказна. И. А. Артоболевский слушал его лекции по русской истории в Московской духовной академии и под его влиянием сам начал заниматься историей (впоследствии история станет основным объектом его научных исследований: он напишет книгу о Петровско-Разумовском и сохранившихся там памятниках архитектуры начала XVIII в., будет много работать в архивах, изучать документы, расшифровывать старинные рукописи). Через два года он защитил диссертацию на степень магистра и перешел на преподавательскую работу в Московское коммерческое училище. Совет Московского сельскохозяйственного института дважды избирал Ивана Алексеевича на должность профессора богословия, однако в этом звании он не был утвержден министром просвещения, который считал его либералом, могущим оказать вредное влияние на студентов. В Коммерческом училище И. А. Артоболевский преподавал до 1911 г., когда совет Сельскохозяйственного института в третий раз избрал его профессором и по существующему уставу министр уже терял право отказать ему в утверждении.

Московский сельскохозяйственный институт находился в Петровско-Разумовском, в 7 километрах от Москвы, и связь с городом

была довольно затруднительной: ходил «паровичок» с четырьмя или пятью вагонами, но не всегда придерживался расписания.

Уровень преподавания в институте был исключительно высоким. Курс неорганической химии читал И. А. Каблуков, органической химии — Н. Я. Демьянов, земледелия — Д. Н. Прянишников, почвоведения — В. Р. Вильямс, зоологии — Н. М. Кулагин, курс сельскохозяйственных машин — В. П. Горячкин. Все эти профессора впоследствии стали действительными членами Академии наук СССР и Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина: Крупными учеными были профессор политической экономии В. А. Железнов, А. Ф. Фортунатов, который читал сельскохозяйственную статистику, В. И. Эдельштейн, читавший овощеводство, С. И. Жегалов, Е. А. Богданов, А. Г. Дояренко и др.

Артоболевские поселились на территории института в доме с большим запущенным садом. Иван Алексеевич любил копаться в саду, пытался и детей приучить к садоводству, что, впрочем, ему удавалось плохо. Но переезд из города на «лоно природы» произвел на детей огромное впечатление.

В семье Артоболевских было четверо детей. Иван Иванович был вторым: старше был брат Сергей, младше две сестры, Елизавета и Зинаида. Детей начали учить рано: чтению, письму и арифметике учила мать Зинаида Петровна, французскому языку — учительница. Обязательными, но нелюбимыми были уроки музыки. Учили тогда по Ганнону, и больше всего приходилось играть гаммы — занятие полезное, но для детей не представлявшее большого интереса. Все же Иван Иванович ухитрился выучить Ганнона наизусть и мог одновременно играть упражнения и читать роман об индейцах.

С ранних лет началось увлечение чтением. Под влиянием отца он прочитал и на всю жизнь полюбил Достоевского и Толстого, Пушкина и Лермонтова, Чехова и Лескова. Позже в круг чтения вошли Куприн и Бунин. Прочел в подлиннике некоторые сочинения французских классиков, даже «Гаргантюа и Пантагрюэля» Рабле. Не были забыты и Жюль Верн и Майн Рид. Затем наступила очередь книгам по истории и философии из богатой отцовской библиотеки. Добросовестно прочитал «Историю цивилизации» Бокля, познакомился с сочинениями Чернышевского, Белинского, Плеханова, Кропоткина.

До 10 лет мальчик учился дома. Далее встал вопрос о выборе школы. Было решено, что младший сын будет держать экзамен в первый класс 11-й гимназии. Но экзамены прошли неудачно: незнакомая обстановка, суровые экзаменаторы, шумная толпа сверстников — все это подействовало удручающе, и Ваня получил двойку по арифметике, которую хорошо знал.

В том же 1915 г. он еще раз держал экзамены, теперь уже в 3-ю классическую гимназию и на этот раз был зачислен в первый класс, сдав все предметы на пятерки.

В гимназии особенно хорошо было поставлено преподавание языков, естественной и общей истории. Уже с тринадцатилетнего возраста И. И. Артоболевский начал читать сочинения Ключевского. И вообще вплоть до четвертого класса предпочтение он отдавал гуманитарным и естественным дисциплинам. И лишь позже начинается постепенное увлечение математикой. Одновременно появляется интерес к физике, которую в гимназии преподавал С. И. Жарков, сопровождавший уроки демонстрациями и опытами.

К этому времени страна уже второй год воевала с Германией. Стала ощущаться нехватка продуктов, появились очереди. Рабочие на ухудшение жизненных условий ответили забастовками: временами прекращали работу трамваи, электростанция, магазины. Волнения охватили и студенчество. В стране нарастала революционная ситуация.

Большинство профессоров и преподавателей Сельскохозяйственного института по своим убеждениям примыкали к партии кадетов, придерживались умеренных взглядов и считали, что будущее России — это парламентская буржуазная республика по образцу Франции. Среди студентов, в своем подавляющем большинстве выходцев из села, сильное влияние имела тогда партия эсеров.

Февральскую революцию и профессора и студенты Сельскохозяйственного института приняли восторженно. Была произведена некоторая реформа высшего образования, студенты начали принимать активное участие в жизни института. Летом 1918 г. институт был переименован в Петровскую сельскохозяйственную академию. В конце 1918 г. ректором Академии был назначен В. П. Горячкин. Через некоторое время был организован рабочий факультет, в создании которого ученые Академии приняли деятельное участие.

Положение семьи Артоболевских изменилось. Должность профессора богословия была ликвидирована, и Ивану Алексеевичу пришлось поступить приходским священником, что не давало в те годы почти никакого заработка. Зинаида Петровна устроилась в Академию счетоводом. Дополнением к ее пайку стал небольшой огородный участок. Казенную квартиру также пришлось освободить — семья переехала в Лихоборы, заняв там небольшой дачный домик.

В Лихоборах Иван Иванович поступил в Единую трудовую школу 2-й ступени. Учиться ему было легко, но ходить в школу удавалось не всегда, так как надо было «подрабатывать». «Мы дети так голодали, — вспоминает Иван Иванович, — что принуждены были наниматься на различную временную работу, которая оплачивалась продуктами. Летом мы работали на огородах и в садах богатых подмосковных огородников. У них можно было есть сколько угодно фруктов и яблок, но только не уносить их домой. Оплачивали нас с братом и сестрами обычно картофелем и овощами. Работали мы также на ферме Академии, собирали кар-

тошку, убирали турнепс, кормовую свеклу, я очень любил животных и с удовольствием убирал стойла, купал лошадей, участвовал в ремонте саней, плугов, повозок».

В конце 1918 г. Иван Иванович встретился с профессором сельскохозяйственной статистики А. Ф. Фортунатовым, выдающимся педагогом и чрезвычайно широко образованным человеком. Фортунатов обучал своих сыновей дома и сам готовил их по полному гимназическому курсу. Он предложил Ивану Ивановичу заниматься с ним математикой. Предложение было с благодарностью принято, и занятия начались. Геометрия и раньше была в числе любимых предметов Артоболевского; когда же они перешли к задачам на построение при помощи циркуля и линейки, оба, и учитель, и ученик, так увлеклись, что перерешали все задачи такого рода, какие только смогли найти в русских и иностранных задачниках. По мере усложнения задач случалось, что ни тот, ни другой не могли сразу найти решение: тогда каждый из них начинал работать самостоятельно и решивший первым должен был письмом (жили они на одной улице, друг против друга) уведомить о решении. Так очень быстро были пройдены курсы алгебры, геометрии и тригонометрии. Дальше решили заниматься сферической геометрией и основами анализа. Этими разделами математики Фортунатов сам раньше не занимался, и поэтому грань между учителем и учеником быстро стерлась.

Роль Фортунатова в жизни Ивана Ивановича не ограничилась занятиями математикой. У него была громадная библиотека, он руководил чтением своего ученика и следил за его развитием. Занятия с Фортунатовым помогли «перешагнуть» через класс — из 2-го перейти сразу в 4-й. Школа была смешанная, и в 4-м классе большинство составляли девушки, по возрасту старше Ивана Ивановича на три-четыре года. Учиться было нетрудно, и он начал думать о дальнейшем пути.

Примерно в это время возникло увлечение ихтиологией, что было результатом встречи с выдающимся советским биологом-ихтиологом, профессором Академии С. А. Зерновым. Встреча эта произошла так: постоянная нужда заставляла искать все новых источников заработка. Однажды Зинаида Петровна узнала, что рыбоводный факультет Академии приобрел библиотеку профессора-ихтиолога Зографа и нужно составить ее каталог. Она попросила С. А. Зернова принять на эту работу сына. Естественно возник интерес к книгам, на которые он заполнял карточки, и чтение их продолжалось часто до позднего вечера. Иногда в библиотеку заходил С. А. Зернов; беседы с ним на всю жизнь привили любовь к биологии.

Расставанье с библиотекой было грустным. По-видимому, и Зернов привык к мальчику: во всяком случае, он взял с него слово, что через год, по окончании школы, тот будет держать экзамен на рыбоводный факультет Академии, организатором и первым деканом которого был Зернов.

Итак, картотека была составлена, и нужно было думать о другой работе. Теперь помог профессор Академии, крупнейший лесовод, специалист по таксации леса и к тому же большой любитель и знаток хорового пения Г. М. Турский. Он рекомендовал Ивана Ивановича на работу в лесной кабинет, которым руководил профессор Н. С. Нестеров. Здесь пришлось чертить, производить замеры прироста деревьев, составлять планы делянок. Началась новая дружба (если можно говорить о дружбе между маститым ученым и подростком). Нестеров был поразительным рассказчиком и заражал своей любовью к лесу и его обитателям. Возникла мысль — может быть, профессия лесовода интереснее профессии ихтиолога.

Весной 1921 г. И. И. Артоболевский закончил среднюю школу; было ему тогда пятнадцать с половиной лет, и возраст стал одним из препятствий к поступлению в высшее учебное заведение. Другим препятствием было социальное происхождение: в 20-х годах только начала создаваться рабоче-крестьянская прослойка среди студенчества и сыну священника поступить в высшую школу было трудно. Поэтому ни об университете, ни о Высшем техническом училище не могло быть и речи и единственным реальным вариантом оставалась сельскохозяйственная академия. По совету А. Ф. Фортунатова Иван Иванович обратился к В. П. Горячкину и после разговора с ним подал заявление на отделение сельскохозяйственной механики, основанное Горячкиным на инженерном факультете. Но комиссия отказала в приеме. Тогда по инициативе С. А. Зернова несколько профессоров Академии написали наркому просвещения А. В. Луначарскому ходатайство о приеме И. И. Артоболевского в Академию; С. А. Зернов отвез ходатайство Луначарскому, и тот попросил прислать за разрешением самого абитуриента.

«За бумагой, — вспоминает Иван Иванович, — я поехал в указанное мне секретарем А. В. Луначарского время. Я постарался как можно лучше выглядеть. Поэтому я надел свою лучшую голубую «русскую» рубашку, которую надевал только на танцы. Обут я был в весьма ветхие сапоги. Заканчивалось мое выходное обмундирование старыми галифе, студенческой курткой и фуражкой, которую я уже тогда по дешевке приобрел. Роста был я тогда маленького и все это сидело на мне как на огородном чучеле. Меня неожиданно принял сам нарком. Гораздо позже, когда я стал бывать в семье Луначарских Анатолий Васильевич любил рассказывать о своем первом впечатлении обо мне. Он говорил, что когда увидал меня, ему стало так весело и смешно, что он с трудом удержался от того, чтобы не расхохотаться. Я был очень испуган и многого из того, что говорил Анатолий Васильевич, теперь не помню. Помню только, что он очень подробно расспрашивал меня, как я умудрился так рано закончить среднюю школу. Интересовался моей работой в библиотеке С. А. Зернова. Спрашивал, слушаются ли меня мои ученики, с которыми я занимаюсь

репетиторством. Постепенно испуг сменился у меня доверием к этому обаятельному человеку и я подробно ответил на все вопросы о том, как я учусь, что читаю, что больше всего люблю из литературы. Я рассказал ему о своих интересах, о трудностях, связанных с происхождением, с устройством на работу. Когда я сказал, что французских писателей читаю в подлинниках, он очень оживился и спросил, читал ли я в подлиннике Анатоля Франса. Когда выяснилось, что я не знаю даже фамилии этого писателя, Анатолий Васильевич засмеялся и сказал, что если я не читал Франса, то я полный профан во французской литературе. Он достал с полки томик Франса и, не раскрывая его, прочел на память по-французски целый отрывок из «Восстания ангелов». Потом дал мне этот томик, чтобы я прочитал его, и через две или три недели подробно расспросил о моих впечатлениях об этом романе».

Дети рабочих, крестьян и трудовой интеллигенции принимались в Академию без экзамена, поэтому Иван Иванович оказался единственным абитуриентом, поступающим по конкурсу. Все вступительные экзамены он сдал с оценкой «отлично» и был зачислен студентом. На курсе он оказался моложе всех: его товарищи по учебе прошли уже большой трудовой путь, многие из них участвовали в первой мировой войне, а позже — в гражданской. Систематической подготовки у них не было, и поэтому Иван Иванович готовил своих товарищей к экзаменам, помогал им выполнять домашние задания, решать задачи. На общественных началах он организовал библиотеку учебников и учебных пособий и сам стал бессменным библиотекарем и консультантом по учебной литературе.

А условия учебы были не из легких. Аудитории не отапливались, профессора и студенты сидели на лекциях в пальто. Учебный режим в первой половине 20-х годов был иной, чем теперь. Существовала так называемая предметная система: студенты могли слушать лекции, готовиться и сдавать экзамены по любому предмету и в произвольной последовательности. Посещение лекций не было обязательным. Каждый предмет оценивался определенным количеством очков, и к концу семестра студент должен был набрать определенную сумму очков.

Необязательность посещения лекций привела к тому, что у некоторых преподавателей не оказывалось слушателей или же оставались считанные единицы. В подобном положении оказались профессора С. С. Бюшгенс, читавший математику, и механик Г. Г. Аппельрот, хотя оба они были первоклассными учеными. Так как в конце концов И. И. Артоболевский остался единственным слушателем Бюшгенса, тот перестал читать лекции и перевел его на самостоятельную работу по учебникам. Таким образом Иван Иванович сдал в конце первого года обучения весь двухлетний курс математики, включавший аналитическую и дифференциальную геометрию, дифференциальное и интегральное исчисление.

Тогда же он сдал зачет по черчению и ряд других предметов, в частности, политическую экономию, которую читал профессор В. А. Железнов. Кроме того, он прослушал ряд необязательных для него курсов — лекции Д. Н. Прянишникова, В. Р. Вильямса, Г. М. Турского (по таксации леса), Н. С. Нестерова, а также курсы ихтиологии генетики и селекции.

«Попытка побольше узнать привела меня к тому, — вспоминает Иван Иванович, — что я разбросался в своих интересах, слушал и инженерные, и агрономические науки. В результате к концу первого семестра я недобрал нескольких очков, полагавшихся по так называемому минимуму. Этим воспользовались мои «доброжелатели» и немедленно исключили меня за «неуспеваемость», хотя все, что я сдал, сдал я на отлично. Однако когда оказалось, что у 90% моих сокурсников «очковый минимум» был еще меньше моего, я автоматически был восстановлен в числе студентов. Но для меня это было большим уроком. Я должен был сосредоточиться на изучении тех курсов, которые были включены в учебный план отделения, и не отвлекаться на изучение курсов, не входящих в этот план».

В начале первого семестра произошло событие, оставшееся в памяти Ивана Ивановича на всю жизнь. В это время в учебно-опытном хозяйстве Московского высшего зоотехнического института «Бутырский хутор» проводились испытания первого советского электроплуга. Агрегат состоял из специального балансирного восьмилемешного плуга, передвигавшегося с помощью канатной тяги, и электролебедок, установленных на передвижных тележках. Предполагалось, что этот способ пахоты окажется весьма эффективным, но это не оправдалось: электропахота требовала безукоризненно ровных полей, транспортных средств для перемещения концевых лебедок, канатов с малым коэффициентом удлинения и с большой прочностью. В испытательную группу в качестве подсобного рабочего был включен и Артоболевский, общее наблюдение за испытаниями вел Горячкин. На «Бутырском хуторе» произошла знаменательная встреча с В. И. Лениным.

«Электропахотой интересовались многие, — вспоминает Иван Иванович, — поэтому всяких комиссий и специалистов приезжало очень много. В один из октябрьских дней к полю подъехал кортеж машин и из них вышли люди. Одним из них был В. И. Ленин; я сразу узнал его, так как видел Владимира Ильича на Красной площади, а потом в бывшем Купеческом собрании. Он мне только показался меньше ростом, чем на трибуне. Владимир Ильич задавал много вопросов о качестве работы электроплуга и о том, какие трудности возникают в связи с его эксплуатацией. Ему показали оборванные канаты, борозду плуга с колебаниями от 10 до 80 см, в зависимости от рельефа почвы. Владимир Ильич очень внимательно смотрел, слушал, затем, переговорив со своими спутниками, сказал, что хотел бы побеседовать с профессором Горячкиным. Ему ответили, что Горячкин находится сейчас на Ма-

шиноиспытательной станции, километрах в трех от Бутырского хутора.

Я сел в машину и поехал за Горячкиным; застал я его в кабинете, во время десятиминутного перерыва между двумя часами лекции. Я сообщил, что меня прислали за ним и что его хочет видеть товарищ Ленин. Василий Прохорович развел руками и ответил, что у него еще час лекции и что он сможет приехать только через час. На машине я вернулся на Бутырский хутор; когда Ленину сообщили о причине задержки Горячкина, Владимир Ильич ответил: «Лекция — это вещь важная, мы подождем» — и сел на раму плуга. Через час я снова поехал за Горячкиным и привез его. Меня поразила тогда простота Владимира Ильича, его понимание важности преподавательской работы и глубокий смысл его замечания о важности лекции. Я и теперь иногда привожу своим студентам этот эпизод как пример простоты и глубокой внутренней интеллигентности величайшего гения нашей эпохи».

Электроплуги с канатной тягой, имевшие ряд существенных недостатков, в дальнейшем уступили место тракторам с двигателем внутреннего сгорания.

В весеннем семестре 1923 г. Иван Иванович начал слушать лекции Н. И. Мерцалова; с этого времени, по-видимому, и началось его самоопределение, как ученого. Мерцалов был очень интересным человеком. «Даже внешне он был оригинален, — вспоминает о нем Артоболевский, — седая копна волос, борода, усы, окаймлявшие лицо, и глаза, смотревшие сквозь очки: в них сияло какое-то вдохновение и оторванность от всего будничного... Читал он сложно, студенты плохо понимали его, так как геометрия, эта «царица математики», большинству давалась плохо. Для меня же геометрия была родной наукой еще со времен занятий с Фортунатовым.

И вдруг я нашел для геометрии красивейшее применение в кинематике механизмов. Это так увлекло меня, что я после каждой лекции хватался за свои конспекты и за учебник Мерцалова, чтобы повторить все им прочитанное и сделать по памяти все необходимые чертежи и построения...

В осеннем семестре 1923 г. я слушал у Мерцалова курс динамики механизмов. Это был один из первых курсов по этому предмету. Он содержал большое число совершенно новых вопросов теории движения машин под действием заданных сил, теории маховых масс и т. п. Мне всегда казалось, что Мерцалов не любил, чтобы на него оказывали влияние работы и методы других ученых. Он стремился все излагать по-своему, не интересуясь, было ли это ранее сделано кем-либо другим. С особым уважением он относился к представителям французской школы кинематики механизмов. Конечно, он высоко ценил и работы Рело, Грасгофа, Бурместера и других, но мало пользовался ими при изложении курса. Он, например, рекомендовал мне познакомиться с ними, но когда я спросил, почему он не уделяет внимания ни структуре

механизмов по Рело, ни метрическому синтезу по Бурместеру, то Мерцалов категорически заявил, что оба эти метода не эффективны ни для теории, ни для инженерной практики. Когда я в 1928 г. «открыл» работы Л. В. Ассура, о которых Николай Иванович мне ничего не рассказывал, то он сообщил, что Ассур был его учеником и что работа Ассура была ему хорошо известна, так как он консультировал ее и принимал участие в ее защите в Московском университете».

В. П. Горячкин одобрительно отнесся к занятиям Артоболевского у Мерцалова и включил его в бригаду по стандартизации конных и тракторных плугов Комиссии по стандартизации при ВСНХ. Здесь Иван Иванович составлял кинематические схемы механизмов, строил планы положений, скоростей и ускорений. Работа была интересной, к тому же довольно хорошо оплачивалась.

К весеннему семестру 1924 г. большинство предметов третьего курса было сдано, и Иван Иванович приступил к курсовым проектам и слушанию специальных дисциплин. Основным курсом для него стала земледельческая механика, которую в течение двух семестров читал Горячкин. На своих лекциях он ставил новые проблемы, показывал, как их можно решать и каким математическим аппаратом надо при этом пользоваться. Курс только рождался, он еще не являл собой законченную сумму знаний, но в нем было большее: это было обучение процессу научного мышления, постановке научной гипотезы, подходу к исследованию проблемы. При этом Горячкин читал курс каждый раз по-новому, и повторное слушание (что и сделал Иван Иванович на следующий год) давало новые знания и новый материал для размышлений.

В конце весеннего семестра 1924 г. началась общая практика всех студентов Академии по курсу сельскохозяйственных машин. Тогда же профессор Б. А. Криль, заведовавший кафедрой сельскохозяйственных машин на культуротехническом отделении, предложил Артоболевскому вести практические занятия по курсу. Иван Иванович был зачислен сверхштатным ассистентом и сразу же приступил к работе. Занятия проводились на Машиноиспытательной станции и заключались в изложении принципов конструкции различных сельскохозяйственных машин, их сборке, уходе за ними, эксплуатации в полевых условиях, экспериментальном определении их агротехнических качеств. Несколько позже Иван Иванович начал вести преподавательскую работу под руководством Б. А. Криля и П. И. Бородина и на других отделениях агрономического факультета.

В 1924 г. состоялось знакомство с Высшим техническим училищем. У Артоболевского появился серьезный интерес к теории механизмов, и оба его учителя, Н. И. Мерцалов и В. П. Горячкин, поощрительно отнеслись к его желанию специализироваться в этой отрасли знания. Н. И. Мерцалов познакомил Ивана Ивановича со своими сотрудниками в МВТУ — М. И. Фелинским,

Л. П. Смирновым и с профессорами, в частности А. И. Сидоровым, А. П. Поляковым, А. П. Котельниковым. Там Иван Иванович прослушал лекции по прикладной механике Смирнова и Фелинского. Каждый из них читал этот предмет по-своему. Так, Смирнов больше внимания уделял связи с теорией поршневых паровых двигателей, при этом широко пользовался графическими методами. М. И. Фелинский читал «по Мерцалову», стараясь не отходить от курса своего учителя, который он записал и отредактировал.

Затем Артоболевский прослушал лекции А. И. Сидорова по истории науки и техники, принципам конструирования и расчета машин, теории регулирования. «Лекции А. И. Сидорова оказали на меня большое влияние, — вспоминает он. — Во-первых, я понял значение истории науки для развития всех отраслей науки и техники. Я полюбил историю науки и техники и всю жизнь занимался этими вопросами применительно к теории механизмов и машин. А. И. Сидоров открыл мне еще одну сторону вопроса, имевшую решающее значение для моего образования. Большой эрудит, он в своих лекциях делал ссылки на множество книг, статей и заметок французских, немецких и английских ученых. О некоторых из них я уже слыхал на лекциях Мерцалова, но о большинстве узнал лишь от Сидорова».

Затем началось знакомство с творчеством классиков науки о машинах. В МВТУ была богатейшая библиотека, и Артоболевский читал труды иностранных и отечественных ученых — Остроградского, Чебышева, Вышнеградского, Жуковского.

По курсовому проектированию, в соответствии с программой, полагалось выполнить два проекта — технологический и конструкторский. Технологическим проектированием руководил профессор Д. Д. Бондарев; в качестве проекта представлялся проект цеха или его участка. Конструкторским проектированием руководил профессор В. А. Желиговский (позже академик ВАСХНИЛ), профессор П. И. Бородин и др.; здесь полагалось выполнить проект плуга, культиватора, сеялки, молотилки или иной сельскохозяйственной машины. В качестве технологического проекта Иван Иванович выполнил проект цеха плужных отвалов; главной задачей здесь было проектирование процесса получения отвалов заданной геометрии. Конструкторский проект, выполненный под руководством В. А. Желиговского, содержал некоторые элементы научного исследования: следовало спроектировать механизмы сепарации и очистки паровой молотилки, при этом провести динамический анализ четырехклавишного соломотряса, определить силы инерции отдельных клавишных механизмов и рассмотреть вопрос о частичном уравновешивании сил инерции.

Во второй половине лета 1924 г. Бородин предложил Артоболевскому временную работу по испытанию пенькового шпагата на сноповязалках, где применялся импортный манильский шпагат, который надо было заменить отечественным. Проблема казалась

несложной, но когда стали испытывать отечественный шпагат из пеньки, оказалось что он совершенно непригоден для тех конструкций вязальных механизмов, которые тогда применялись на сноповязалках. Пришлось разрабатывать новые механизмы, и Ивану Ивановичу было поручено провести исследование пространственного механизма вязального аппарата.

Подошло время дипломного проекта. Горячкина очень интересовал пространственный механизм сбрасывающих граблей жаток, и он поручил Ивану Ивановичу в качестве дипломного проекта провести сравнительный анализ кинематики механизмов сбрасывающих граблей двух американских жаток-самосбросок. Консультантом по проекту согласился быть Н. И. Мерцалов.

Артоболевский провел исследование этих механизмов графоаналитическим методом. Когда исследование подходило к концу, Горячкин предложил сопоставить полученные результаты с оригинальной моделью сбрасывающих граблей фирмы Хорнсли. Механизм Хорнсли представлял собой пространственный шарнирно-рычажный механизм общего вида, и у Мерцалова возникла мысль заменить его сферическим четырехзвенником.

В то время единственным известным сферическим механизмом, теория которого существовала, был шарнир Гука. Иван Иванович начал с изучения кинематики сферических механизмов в самом общем виде — строил планы скоростей и ускорений, исследовал шатунные кривые, причем пользовался методами начертательной геометрии. Стало ясно, что между плоскими и сферическими механизмами должно существовать какое-то соответствие. Основываясь на этом соответствии, Артоболевский предложил метод «закручивания» плоских механизмов на сферы.

Для использования сферического четырехзвенника в качестве механизма сбрасывающей грабли необходимо было найти сферические траектории с участком, близким к дуге круга. Это заставило заняться изучением плоских направляющих механизмов с участками шатунных кривых, близких к участкам прямых. Для решения задачи Артоболевский использовал разработанный Н. И. Мерцаловым метод поворотных кругов. Он нашел схемы таких механизмов, правда, не совсем удовлетворительные, так как в результате получались слишком большие отклонения шатунной кривой от прямой. Полученные плоские механизмы он «закрутил» на сферу и получил сферические направляющие механизмы, в которых часть траектории, которая приближенно представляла дугу окружности, могла быть использована для перемещения скошенных растений по платформе жаток. При этом пришлось решить и сложную задачу о сохранении перпендикулярности между рабочей плоскостью и плоскостью платформы.

Дипломную работу приходилось делать по вечерам: днем Артоболевский работал слесарем-механиком в группе по испытанию жатвенных машин — в поле или в мастерских. Приходилось

конструировать приборы и механизмы, проводить испытания и обрабатывать их результаты. Это давало хотя скромный, но постоянный заработок.

В конце 1925 г. группа студентов Академии, в которую входил и Артоболевский, в течение двух с половиной месяцев ездила по заводам общего и сельскохозяйственного машиностроения для ознакомления с их работой. Побывали в Ленинграде, Брянске, Одессе, Харькове, Бердянске и других городах. Заводы Ивану Ивановичу приходилось посещать не впервые: он уже побывал во время производственной практики на Люберецком заводе сельскохозяйственных машин, на Людиновском заводе локомобилей и на «Красном путиловце». Везде поражало отсутствие развитых методов расчета машин, слепое копирование иностранных образцов, приемы работы «по старинке».

Поездка была чрезвычайно ценной в познавательном отношении и очень веселой в житейском: все были молоды, любили песни, любили поухаживать за девушками. Новый год встречали в Бердянске.

По возвращении в Москву надо было приниматься за оформление дипломной работы, которая оказалась значительно больше обычно принятой — 40 листов ватмана и обширная пояснительная записка. Работа была доложена на заседании профессоров отделения, одобрена и в соответствии с существовавшим тогда порядком, назначены официальные оппоненты — П. И. Бородин и Б. А. Криль. Была определена дата защиты, но за три дня до нее Артоболевского вызвали в ректорат и сообщили, что ректор Муралов защиту отменил под предлогом непролетарского происхождения дипломанта. Эта несправедливость так подействовала на Артоболевского, что он на три недели слег в постель. Коллективное ходатайство профессоров не увенчалось успехом и пришлось снова обращаться к Луначарскому. А. В. Луначарский принял Ивана Ивановича, расспросил о его успехах и тут же позвонил члену коллегии Наркомпроса О. Ю. Шмидту, чтобы тот передал его указание о немедленном восстановлении Артоболевского в Академии.

Защита дипломной работы по своему регламенту напоминала современную кандидатскую защиту. Официальные оппоненты П. И. Бородин и Б. А. Криль в своих выступлениях отметили новизну решения задачи и возможность использования ее в практике сельскохозяйственного машиностроения. Н. И. Мерцалов рассказал о роли теории механизмов, особенно пространственных, для развития машиностроения и о тех трудностях, которые пришлось преодолеть дипломанту при решении задач о положениях, скоростях и ускорениях точек рабочего органа — шатуна сферического механизма. В. П. Горячкин говорил о роли теории механизмов в исследовании сельскохозяйственных машин. Работу он классифицировал как выдающуюся, а автора назвал молодым талантливым научным работником и большим тружеником.

Защита прошла блестяще, и единогласное решение о присвоении И. И. Артоболевскому звания инженера-агронома по сельскохозяйственному машиностроению было встречено присутствующими аплодисментами. Окончилась она «банкетом», который был устроен в складчину товарищами и однокурсниками молодого инженера.

Луначарский, принявший так много участия в судьбе Ивана Ивановича, просил позвонить ему после защиты. Это было выполнено: «Анатолий Васильевич сказал, что хотел бы услышать от меня более подробный рассказ о защите, и пригласил приехать к нему в ближайшую субботу домой, в Денежный переулок. Я был крайне смущен и даже испуган этим приглашением: мне казалось, что я буду себя чувствовать очень связанным, неуверенным и далеким от тех, кто окружал Анатолия Васильевича.

В действительности все было иначе. Меня встретила Наталья Александровна — жена Анатолия Васильевича. Она была удивительно приветлива, проста и гостеприимна. Познакомила меня со своей сестрой Таней и ее подружками: это были молодые балерины Большого театра, из них я помню Г. Ткаченко и Е. Капустину. Кроме того, у Луначарских был тогда в гостях его друг Ф. И. Махарадзе, выдающийся партийный деятель Грузии...

Среди молодежи были молодые писатели, поэты, артисты. Здесь я впервые встретил И. С. Козловского, Б. С. Ромашова, М. Кольцова, С. Есенина, А. Ахматову, Н. Клюева... Благодаря характеру Анатолия Васильевича и гостеприимству Натальи Александровны все чувствовали тебя очень просто и непринужденно. Кто-то музицировал, кто-то пел, кто-то читал стихи. Анатолий Васильевич любил споры, был блестящим полемистом. Его выступления были полны ораторского блеска, глубоки по содержанию, поражали эрудицией.

Когда я познакомился с Луначарскими, то был еще слишком молод и необразован, чтобы принимать участие в этих спорах, но их влияние на меня было громадным: только здесь я понял, что право называться интеллигентом дается не дипломом об окончании высшего учебного заведения, а внутренним содержанием человека, его человечностью, высоким гуманизмом, нравственными качествами, постоянно накопляемой эрудицией. Я как губка старался впитать в себя все, что слышал от Анатолия Васильевича, от его друзей и соратников, и постоянно убеждался, что я удивительно безграмотен в литературе, искусстве, философии, этике... Много раз, возвращаясь от Луначарских, я хватался за ту или иную книгу, которой раньше не читал, обращался к отцу за консультациями по философии, этике и другим гуманитарным наукам. К увлечению Достоевским, привитому мне отцом, к знанию русских классиков теперь добавился интерес к творчеству Блока, Есенина, Хлебникова, Ахматовой, Клюева, Алексея Толстого ... Влиянию Анатолия Васильевича я обязан

моим увлечением французской школой живописи, в особенности творчеством барбизонцев и импрессионистов.

Хочется сказать несколько слов о друге и жене Анатолия Васильевича — Наталье Александровне. С первого же моего посещения она удивительно тепло и трогательно отнеслась ко мне, иногда защищая от дружеских нападок на меня Анатолия Васильевича, подчас справедливо обвинявшего меня в недостаточном для образованного человека знании гуманитарных наук. Наталья Александровна была очень добрым, спокойным и уравновешенным человеком, большим эрудитом во многих областях культуры. И хотя, конечно, Анатолий Васильевич был центром, вокруг которого в их доме объединялась советская интеллигенция, но мне кажется, что без Натальи Александровны не было бы того тепла, которое присуще было семье Луначарских».

По окончании Сельскохозяйственной академии Иван Иванович мечтал продолжить научные исследования, начатые под руководством В. П. Горячкина и Н. И. Мерцалова, но руководство Академии категорически отказало ему в работе. Пришлось искать занятия на стороне.

Как раз в это время профессор В. Ю. Ган получил предложение возглавить проектирование и постройку «Ростельмаша». В свою очередь он предложил Артоболевскому принять руководство проектной группой по одному из цехов будущего завода. Условия были очень выгодные, почти на грани с фантастикой: если раньше Иван Иванович зарабатывал 60—70 руб. в месяц, то Ган предложил ему 300 руб. и интересную самостоятельную инженерную работу над проектом нового завода с неизвестной у нас технологией. Оставалось поговорить с Мерцаловым и Горячкиным. Мерцалов был опечален отъездом своего ученика, он рекомендовал не бросать занятий по теории механизмов, а осенью приехать в Москву и попытаться получить место «оставленного при кафедре» (так тогда называлась аспирантура) в Сельскохозяйственной академии или в МВТУ.

Разговор с Горячкиным оказался сложнее. Он согласился, что В. Ю. Ган — выдающийся ученый в области сельскохозяйственного машиностроения и, работая у него, можно получить хорошую инженерную подготовку. «Но, — сказал он, — как же будет с начатыми вами работами по теории механизмов?» Через три дня Иван Иванович сказал Горячкину, что решил отказаться от предложения Гана. В качестве «компенсации» тот зачислил его на временную работу слесарем-механиком на период летних испытаний машин. Для приработка приходилось по вечерам выполнять различные конструкторские, проектные и чертежные работы. Сразу же помог профессор Турский, который предложил чертить карты прироста деревьев на Лесной даче Академии.

Учеба окончилась, началась трудовая жизнь.

Одной из первых работ, с которыми пришлось встретиться молодому инженеру, было испытание только что приобретенного

Советским Союзом комбайна американской фирмы «Джон Дир». По договору, сборку первого комбайна должны были выполнить работники фирмы; после этого за большие деньги фирма могла продать нам монтажные чертежи. В. П. Горячкин предложил Артоболевскому принять участие в работе сборочной бригады, которой руководил американский инженер, с тем чтобы внимательно наблюдать за сборкой и учитывать все замечания американца.

Каждый вечер Иван Иванович по памяти записывал порядок сборки, методы отладки и контроля. Таким образом накопилась достаточно полная информация о сборке отдельных узлов, их комплектации и другие необходимые материалы. В результате мы смогли отказаться от дальнейших услуг фирмы, в том числе и от монтажных чертежей, и следующий комбайн был собран уже под руководством Артоболевского; он же его и испытывал. Однако испытания проводились на землях Бутырского хутора, условия которого не соответствовали теплым районам США, для которых, собственно, и строились эти комбайны. На испытаниях больше отлаживали комбайн, чем собирали с его помощью хлеб. Только позже, на испытаниях в Сальских степях, комбайн показал все свои возможности.

В конце лета Артоболевский устроился на работу к профессору И. П. Бородину. Бородин был по специальности агроном, но всю жизнь увлекался проектированием сельскохозяйственных машин. Занимался он главным образом проектированием уборочных машин — сноповязалок, жаток, косилок, а позже комбайнов. Он организовал конструкторскую группу и стал проектировать, а затем и строить на Люберецком заводе сельскохозяйственные машины. Во главе своей группы он поставил И. И. Артоболевского, поручив ему общее наблюдение за проектированием и проведение расчетных и опытных работ. Работать с Бородиным было легко, он был прирожденным конструктором. Из его группы вышли крупнейшие конструкторы и ученые, составившие впоследствии ядро Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМа).

Одновременно Иван Иванович продолжал у Мерцалова исследования по теории сферических механизмов. В начале осени, когда начался прием в число оставленных при кафедре, Горячкин предложил оставить Артоболевского при кафедре прикладной механики Н. И. Мерцалова, однако ему в этом было отказано. Не удалось оставить Ивана Ивановича и при кафедре прикладной механики в МВТУ. Более того, ректор Сельскохозяйственной академии запретил ему работать на Машиноиспытательной станции и вообще в каком-либо из учебно-вспомогательных учреждений Академии, и ему пришлось уйти из группы П. И. Бородина.

Тогда он поступил младшим конструктором в акционерное общество «Мельстрой». Здесь ему поручили проектирование различных объектов и узлов элеваторов, которые тогда строились

повсеместно. Руководил конструкторскими работами специалист по мельничным машинам Я. И. Куприц, впоследствии профессор Московского химико-технологического института пищевой промышленности. Здесь Артоболевскому был поручен подбор материалов из отечественной и иностранной литературы по расчету различных мельничных и элеваторных машин, обработка этих материалов и составление инструкций для конструкторов. Работа была творческой и нужной, так как все конструирование в «Мельстрое» тогда проводилось без расчетов, исключительно по личному опыту конструкторов, в лучшем случае по каталогам иностранных фирм.

В «Мельстрое» Артоболевский работал сначала на должности инженера, а вскоре его назначили старшим конструктором и он начал получать довольно значительное жалованье. Это укрепило материальное положение семьи и дало ему возможность начать собирать книги, сперва по математике и механике, а затем и по литературе и искусству. Тем временем Н. И. Мерцалов возобновил попытки оставить Ивана Ивановича у себя на кафедре для занятий научной работой, но они опять ни к чему не привели.

Как это часто бывает, удача пришла неожиданно.

В Московском текстильном институте кафедру теории механизмов вел А. П. Малышев. Он начал научную деятельность в Томском технологическом институте, где преподавал сопротивление материалов на кафедре деталей машин, которой руководил известный ученый И. И. Боборыков, позже читавший в Тимирязевской сельскохозяйственной академии. В Томске Малышев начал работать в области теории механизмов, опубликовал там работы по кинематике механизмов и по рекомендации Н. И. Мерцалова был приглашен в Москву, чтобы организовать в Текстильном институте кафедру теории механизмов. Одновременно Малышев начал разрабатывать основы теории текстильных машин. Он первым у нас понял, что́ значит для обучения теории механизмов хорошо оснащенная лаборатория, и организовал при своей кафедре отличную лабораторию. Вклад его в теорию механизмов и машин весьма существен — он провел ряд исследовательских работ по динамике сложных текстильных механизмов и первым показал, что эта наука может быть использована в инженерном проектировании механизмов и машин.

Однажды Н. И. Мерцалов получил приглашение на доклад Малышева, который должен был состояться в Текстильном институте, но так как сам он пойти не смог, то попросил сходить туда Артоболевского. Вот как вспоминает об этом событии Иван Иванович: «Я приехал в МТИ, с большим интересом выслушал доклад А. П. Малышева и крайне заинтересовался коллекцией моделей пространственных механизмов, которые он демонстрировал. После доклада я подробно рассказал Н. И. Мерцалову о содержании доклада, моделях механизмов и о том, что А. П. Малышев говорил главным образом о структуре пространственных механизмов. Методы кинематического исследования этих механизмов

сводились к построению диаграмм перемещений в трех проекциях с последующим графическим дифференцированием этих диаграмм. После методов пучков скоростей и ускорений, теории аксоид и т. п., излагавшихся Н. И. Мерцаловым в его курсе, способ Малышева показался малонадежным и примитивным, но выступить в дискуссии по его докладу до разговора с Н. И. Мерцаловым я не решился. По его совету я попросил Малышева принять меня для разговора. Приемы молодых людей Александр Петрович обставлял весьма торжественно и не просто. Когда я стал работать у него на кафедре, то мог это наблюдать со стороны; тогда же мне пришлось прождать его около часа, и он предупредил, что больше тридцати минут мне для разговора уделить не сможет. Я очень смутился и должно быть поэтому не смог достаточно ясно изложить свои соображения относительно методики исследования пространственных механизмов. В конце беседы Малышев сказал, что мне еще много надо работать, чтобы понять механику пространственных механизмов; однако его удивило, что я сразу смог определить структуру его моделей: несмотря на то, что их звенья входили в различные кинематические пары, механизмы эти можно было привести к обычной семизвенной цепи с одной степенью свободы».

А. П. МАЛЫШЕВ

В конце 1927 г. Малышев предложил Ивану Ивановичу работу в Московском текстильном институте в качестве временного внештатного ассистента; Мерцалов посоветовал согласиться на эти условия. Так началась педагогическая деятельность. Сначала это были лабораторные занятия по теории механизмов, затем — консультации по графическим работам и со временем — преподавание в группах.

Позже на кафедру пришли В. А. Юдин и В. Т. Костицын. Кафедра Малышева была по своему составу «молодой», и за исключением С. И. Доброгурского, видного специалиста по текстильному машиностроению, все остальные еще только начинали свою научную деятельность. Атмосфера была творческой, молодые аспиранты под руководством А. П. Малышева выполняли интересные работы. Он сам часто выступал с докладами и заставлял своих сотрудников серьезно работать над специальной литерату-

рой. Темы диссертаций обычно были связаны с кинематикой и динамикой текстильных машин. В этом направлении существенных успехов добился В. Т. Костицын, который пришел на кафедру будучи еще студентом. Уже первые его работы заинтересовали специалистов текстильного машиностроения. Артоболевский начал заниматься вопросами структуры и классификации механизмов, которым Малышев придавал большое значение. Существенное влияние на молодого ученого оказали и методы эксперимента в теории механизмов, которые развивал Малышев. Последний очень тщательно ставил эксперименты, разрабатывал для их проведения оригинальную аппаратуру, пользовался также и экспериментальной техникой зарубежных фирм.

Можно сказать, что Малышев разработал новую методику преподавания теории машин и механизмов, поставил вопросы о структуре, классификации и, что еще более важно, о синтезе механизмов. Наряду с немецкими учеными школы Грюблера, он выяснил важность проблем синтеза механизмов для практического машиностроения и попытался наметить пути решения проблемы. Правда, это ему удалось сделать неполностью.

В том же, 1927 г. Иван Иванович начал работать и в Московском механическом институте имени Ломоносова, который уже тогда стал основным местом его деятельности. В 20-х годах в Москве Ломоносовский институт, если не считать МВТУ, был самым крупным и укомплектован был наиболее квалифицированными педагогическими кадрами. Организовался он на основе среднего технического училища, от которого унаследовал хорошую базу в виде мастерских и лабораторий. Первым его ректором был Г. М. Кржижановский, сумевший привлечь к работе в институте лучшие педагогические и научные кадры механиков-машиностроителей. Основной задачей института в годы организации была подготовка конструкторов и технологов по специальностям: станки, автомобили, тракторы, двигатели внутреннего сгорания, обработка металлов резанием. В числе профессоров института были Е. А. Чудаков, И. И. Привалов, К. А. Круг, Е. Д. Львов, В. А. Кривоухов, И. И. Боборыков, Б. М. Ошурков, С. Ф. Лебедев и др.

Г. М. Кржижановский понимал, что проблемы сельского хозяйства в стране нельзя было решить без широкого внедрения сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей. Поэтому он поддержал инициативу об организации в институте отделения индустриального земледелия. По его просьбе Горячкин рекомендовал для работы на этом отделении двух своих учеников — В. С. Жегалова и И. И. Артоболевского. Жегалов начал читать специальный курс теории и расчета почвообрабатывающих орудий, Артоболевский — курс теории и расчета уборочных машин. Курс теории и расчета молотилок и зерноочистительных машин читал профессор Эшлиман, курс теории и расчета мукомольных машин и мельничного оборудования — профессор П. А. Козьмин. Последний курс в Ломоносовском институте просуществовал не-

долго, так как вскоре в Московском химико-технологическом институте имени Менделеева была организована новая специальность, развернутая затем в отдельный факультет зерна и муки, на котором позже И. И. Артоболевский заведовал кафедрой прикладной механики.

Читать курс уборочных машин было не трудно, благодаря хорошей подготовке в Тимирязевской академии. Здесь Артоболевский впервые применил свои знания в области кинематики и динамики механизмов, поэтому курс имел как бы экспериментальный оттенок. Одновременно Ивану Ивановичу пришлось руководить курсовым и дипломным проектированием.

В Ломоносовском институте И. И. Артоболевский впервые получил штатное место преподавателя; в следующем, 1928 году, его утвердили в звании доцента, однако не по кафедре сельскохозяйственных машин, а по кафедре прикладной механики. Заведующим этой кафедрой был ученик М. И. Мерцалова и Н. Е. Жуковского профессор М. И. Фелинский. Как и большинство учеников Жуковского, Фелинский окончил и МВТУ и Московский университет, после чего учился в Сорбонне и, кроме того, еще окончил Московскую консерваторию по классу скрипки. Был он большим эрудитом и тонким музыкантом, собрал большую библиотеку, которую завещал Артоболевскому. Однако как ученый почти не проявил себя, если не считать того, что он записал, отредактировал и издал все курсы Мерцалова — и в этом его немалая заслуга перед отечественной наукой.

На кафедре прикладной механики И. И. Артоболевский начал с чтения курса теории пространственных механизмов. Однако вскоре из-за болезни Фелинского ему были переданы и другие курсы и фактическое заведование кафедрой; пришлось взять на себя и руководство графическими работами. Одновременно он преподавал в Текстильном институте, но поскольку продолжал там оставаться в должности внештатного преподавателя, то в 1929 г. решил уйти с этой работы.

Между тем в Ломоносовском институте нагрузка все увеличивалась. Вскоре профессор Л. К. Мартенс (сменивший Кржижановского на посту ректора) поручил Артоболевскому чтение курса «Динамика морских двигателей» для студентов, специализирующихся по судовождению. Затем встал вопрос об организации на отделении индустриального земледелия группы специалистов по механизации виноградарства и виноделия — ряд спецкурсов и курсовое и дипломное проектирование по этой специальности также было поручено Артоболевскому. Этой специальности он не знал, поэтому пришлось не только посидеть над книгами, но и ознакомиться с практической постановкой дела на местах — в Крыму и на Кавказе.

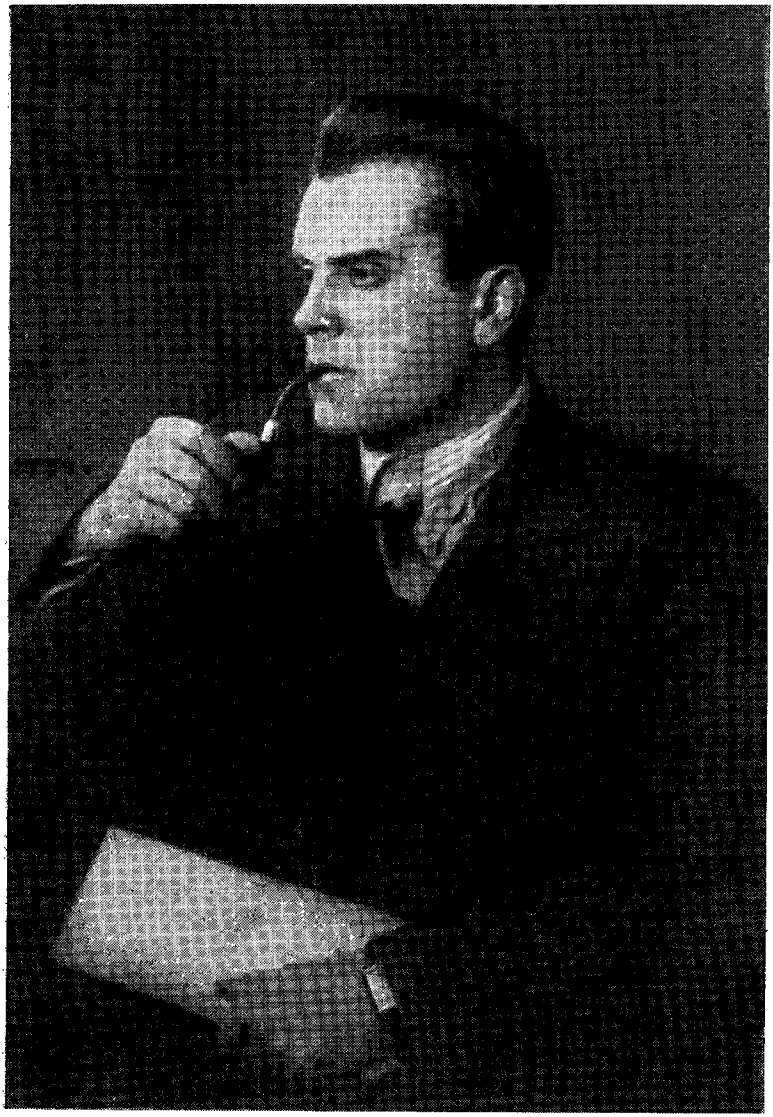
Оказалось, механизация в виноделии была крайне незначительной. Ближе всего к виноделию была спирто-водочная и сахарная промышленность, а специалисты по этим отраслям рабо-

тали в Московском химико-технологическом институте имени Менделеева, и с ними надо было установить контакт. По просьбе Ивана Ивановича Мартенс познакомил его с ректором Института имени Менделеева профессором И. А. Тищенко, крупнейшим специалистом по технологии сахароварения. Тот решил привлечь Артоболевского к работе по механизации технологических процессов в пищевой промышленности. В эти годы как раз был организован Заочный химико-технологический институт, и кафедра механики в нем была поручена Ивану Ивановичу. С этого времени начались его исследования в области методики заочного обучения: им были составлены задания, методические указания, конспекты, вылившиеся впоследствии в отдельные курсы.

Учителя Артоболевского Мерцалов и Горячкин имели двойное образование — окончили университет и Высшее техническое училище. По их совету Иван Иванович также решил получить математическое образование. Он был зачислен экстерном в МГУ с правом слушать лекции на математическом отделении физико-математического факультета и сдавать экзамены по утвержденному для него списку дисциплин: интегральному исчислению, дифференциальной геометрии, интегрированию дифференциальных уравнений, проективной геометрии, теории функций действительного переменного, по векторному анализу, а также зачеты по просеминариям по дифференциальной геометрии, интегральному исчислению и дифференциальным уравнениям. В МГУ он слушал лекции А. И. Некрасова, А. П. Минакова, Г. Г. Аппельрота, Н. Н. Лузина, Н. А. Глаголева, И. И. Жегалкина, В. В. Степанова и других профессоров. Поскольку его особенно интересовали вопросы кинематической геометрии, одним из основных предметов в изучаемом им курсе стала проективная геометрия, которую читал Н. А. Глаголев. Глаголев познакомился с работами Артоболевского по кинематике сферических механизмов и в качестве курсовой, а затем и дипломной работы предложил ему исследование об использовании различных отображений сферы на плоскость в задачах кинематики сферических механизмов.

В 1929 г. в Химико-технологическом институте открылся факультет зерна и муки. Заведующим кафедрой теоретической механики на этот факультет был приглашен А. П. Котельников, а руководство кафедрой прикладной механики предложено Артоболевскому. Встреча и совместная работа с Котельниковым в значительной степени повлияла на становление научных интересов Ивана Ивановича. Котельников занимался разработкой винтового исчисления и некоторыми вопросами кинематической геометрии, которые, как оказалось впоследствии, были необходимы для развития ряда вопросов теории механизмов, в частности кинематического синтеза.

Курсы прикладной механики и гидравлики на механическом факультете читал профессор В. Э. Классен. В конце 1929 г. он решил оставить преподавание прикладной механики и читать



И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ
(1933 г.)

только гидравлику, в связи с чем кафедру решили разделить на две самостоятельные. Был объявлен конкурс на должность профессора заведующего кафедрой прикладной механики, и, несмотря на большое число претендентов, избрали Артоболевского.

То были героические годы первой пятилетки. Страна приступила к строительству своих первенцев машиностроения: Уральский завод тяжелого машиностроения, Краматорский и Горловский машиностроительные заводы, химические и металлургические заводы, завод сельскохозяйственного машиностроения в Ростове-на-Дону, Сталинградский, Харьковский и Челябинский тракторные, Первый подшипниковый, автомобильные заводы в Нижнем Новгороде и Москве, Днепрогесс, Кузнецкий комбинат — все это требовало не только огромных материальных и человеческих ресурсов — надо было срочно готовить квалифицированные кадры. А чтобы обеспечить кадрами промышленность, надо было провести преобразование высшей школы, так как имеющиеся учебные заведения ни качественно, ни количественно не отвечали новым требованиям. Нужно было не только ускорить подготовку инженеров, но и разработать планы подготовки специалистов совершенно новых профилей.

В 1930 г. были проведены организационные мероприятия, в результате чего значительно возросло число высших учебных заведений в стране. При этом большие институты были разукрупнены, организованы новые, специализированные, а те факультеты, на которых готовили специалистов одинакового или подобного профиля, были слиты. В частности, из Менделеевского института выделился механический факультет, на базе которого вырос Московский институт химического машиностроения. Ломоносовский институт распался на два: Институт сельскохозяйственного машиностроения имени М. И. Калинина и Автотранспортный институт. Артоболевский заведовал кафедрой прикладной механики в МИХМе и в Институте имени Калинина.

Каждый крупный институт имел свою программу «прикладной механики», зачастую свой учебник, написанный кем-либо из ведущих профессоров, свои методы исследования, программу графических работ и свою направленность. Кроме того, перепечатывались и переиздавались дореволюционные курсы теории механизмов и динамики машин А. А. Радцига, Д. С. Зернова, Д. П. Рузского. Структура механизмов обычно излагалась по Рело, в качестве классификации предлагался тот или иной вариант классификации Виллиса в переработке французских ученых. Общих методов решения задач не было, классификация Ассура была основательно забыта, и поэтому для решения отдельных задач каждый раз нужно было подбирать подходящий способ. Ведущим ученым в области теории машин были Н. И. Мерцалов, А. П. Малышев, Л. Б. Левенсон, преподававший в Ленинградском горном институте, а в конце 20-х годов переехавший в Москву, Я. В. Столяров, профессор Харьковского технологиче-

ского института, профессора ленинградских вузов Н. И. Колчин, А. П. Иванов и С. В. Вяхирев.

Самым полным и распространенным учебником в 20-х годах был курс профессора Л. Б. Левенсона в двух томах: первый том был посвящен кинематике механизмов, второй — динамике машин. Курс этот выдержал в 20-х годах три издания, несмотря на некоторые теоретические погрешности второй части. Были и другие учебники, в частности, многие институты издавали литографированные курсы своих преподавателей.

В истории механики машин неоднократно обнаруживались расхождения во мнениях между теоретиками, специалистами в области прикладной механики, и практиками-инженерами, которые должны были применять к делу их выводы и рецепты. Математические методы относительно поздно попали в поле зрения механиков машин, и недооценка их постоянно сводила многие вопросы теории к чистому описанию. Сам математический аппарат также ограничивался начертательной, проективной и кинематической геометрией, причем последняя была еще недостаточно разработана. Во Франции в конце XIX в. Дарбу, а в 20-х годах XX в. ряд советских ученых применили к решению некоторых задач плоской теории механизмов методы теории функций комплексного переменного, использовалась также тригонометрия и самые начала анализа. Правда, еще П. Л. Чебышев развил для решения задач синтеза механизмов своеобразный математический аппарат, а Л. В. Ассур в своей классической работе о структуре и классификации механизмов указал на сродство между общей постановкой задач теории механизмов и проблемами топологии, но все это было весьма основательно забыто.

Бурный рост советского машиностроения в годы первой пятилетки потребовал по-новому оценить вопросы теории. Если раньше удовлетворялись конструкторским опытом и решением некоторых частных задач теории механизмов, то теперь положение резко изменилось — на заводы пришли молодые, не умудренные опытом конструкторы, а задачи, которые ставило новое машиностроение, требовали безотлагательного решения.

Создавшееся положение явилось причиной дискуссии о содержании и методах прикладной механики, которая была развернута в Советском Союзе в 1932 г. Началом дискуссии послужила статья редактора газеты «Техника» П. П. Капустина под названием «За социалистическую теорию машин» [1]. В статье говорилось о неясности содержания предмета прикладной механики, о терминологической путанице, о том, что в курсе прикладной механики изучается лишь небольшое число элементарных механизмов и полностью выпадает все богатство технологических машин с их интересными и сложными механизмами. Автор статьи предложил для исследования следующие темы: общую теорию машин,

[1] Газ. «Техника», 1932, № 1.

теорию передаточных и исполнительных механизмов, теорию деталей и приспособлений, принципы автоматизации машин и основы техники безопасности, сопротивление материалов и теорию упругости. Капустин мыслил теорию передаточных механизмов как сравнительную для всех существующих типов передач, а теорию исполнительных механизмов как систему классификации механизмов и законов их работы. В качестве классификационного признака он предложил принять операцию.

Его статья содержала много неясностей (например, в рассуждениях о машине как о социальной категории), но в определенной степени характеризовала положение с прикладной механикой, которая действительно зашла в тупик. Некоторые положения статьи — об общей теории машин, о теории исполнительных механизмов и машин автоматического действия — были для своего времени весьма прогрессивными.

Вопрос был поднят своевременно, и в дискуссию включались самые широкие круги инженерной и научной общественности.

Первым откликнулся А. П. Малышев статьей «Конструктор, втуз и прикладная механика» [2]. Он согласился с основным положением Капустина о том, что следует изменить содержание курса прикладной механики и что основой его должна стать теория исполнительных механизмов. Отметил, что в большинстве случаев изучение прикладной механики ограничивается теорией механизмов и ее связь со специальными курсами крайне незначительна. В качестве примера привел механику текстильных машин, которая как наука была создана лишь к 1931 г. По его мнению, подобные отрасли прикладной механики следовало разработать и для других специальных технологических машин.

«Такое широкое практическое значение курсов механики исполнительных механизмов, — писал Малышев, — естественно приводит к вопросу: целесообразно ли существование общего курса прикладной механики. По-видимому, нужно отличать общую теорию передаточных механизмов от теории исполнительных механизмов. Изложение методов исследования и построения механизмов, учение о движении органов механизмов, структура механизмов, изложение принципов построения автоматов, изучение законов трения в машинах — это может быть предметом общего курса прикладной механики».

Предложение А. П. Малышева о создании теорий конкретных технологических машин поддержали некоторые ученые, в частности историк техники В. В. Данилевский, указавший при этом на некоторые ошибки в статье Капустина, например на его утверждение, что зубчатая передача представляет собой «вид отсталый, неэкономичный».

С резкими возражениями выступили М. Горфинкель и А. Радциг. Последний указал на неопределенность тезисов Капу-

---

[2] Газ. «Техника», 1932, № 4.

стина: многое из того, о чем он говорил, не ново — соответствующие теоретические разделы давно уже преподаются в технических школах. Едва ли есть смысл нарушать цельное изложение курса электротехники, выделяя некоторую его часть в состав прикладной механики. Возможность включения теории гидравлических и пневматических передач в прикладную механику была предусмотрена еще Рело, однако подобные механизмы получили распространение лишь в специальных областях техники, почему и изучаются в соответствующих курсах. «Главное сомнение, — продолжает Радциг, — вызывает во мне теория исполнительных механизмов: при их бесконечном разнообразии теория их представляется мне неконкретной и бессодержательной. Разделение этих механизмов по признаку операций делалось в старых курсах „общей" механической технологии, но такая система была оставлена вследствие своей нежизненности» [3].

Таким образом, в дискуссии сразу же наметились два направления — сторонников преобразования прикладной механики и его противников. Однако звучали и общие мотивы: аргументация их основывалась на существовавших схемах прикладной механики и не затрагивала ее основ. Система прикладной механики, выработанная учеными начала века, остается неизменной, и преобразование науки сводится в сущности к перераспределению изучаемого материала и некоторой переформировке учебных программ.

Совершенно иначе поставил вопрос И. И. Артоболевский, который выступил со статьей «Перестроить систему изучения кинематики и динамики машин» [4]. Он писал: «Статья П. Капустина... совершенно правильно заостряет вопрос о ненормальном положении преподавания курса „Кинематика и динамика машин" для конструкторов. В самом деле, современные курсы „кинематики и динамики машин" дают ряд методов анализа существующих (вернее, существовавших) механизмов и почти, или за немногими исключениями, не дают методов решений обратной задачи — синтеза механизмов, т. е. той задачи, которая несомненно для конструктора является основной.

Причины этого ... надо искать, с одной стороны, в отрыве этой науки от практической действительности, а с другой — в неправильной постановке этой дисциплины на конструкторских отделениях и существующих неясностях в необходимом содержании этой дисциплины...

Преподавание этой дисциплины надо вести не на базе кабинетов-музеев, снабженных громадным количеством давно уже вышедших из употребления моделей механизмов, а на базе хорошо оборудованной лаборатории, где на машинах той отрасли про-

---

[3] *А. А. Радциг.* Имеются серьезные возражения. — Газ. «Техника», 1932, № 13.

[4] Газ. «Техника», 1932, № 14.

мышленности, в которой будет работать будущий инженер-конструктор, он сам провел бы целый ряд кинематических и динамических исследований...

...Громадное большинство современных машин конструируется почти без всяких динамических и кинематических расчетов...

Во всех отраслях машиностроения имеется целый ряд общих вопросов теории машин, которые до сих пор не разрешены. Сюда надо отнести вопрос о трении, вопрос о вибрации в машинах, вопрос об ударном действии сил в машинах, вопрос о методике синтеза механизмов, теории пространственных передач, вопрос об автоматах и т. д.

...Поэтому было бы своевременным поднять вопрос о создании специального института по „теории машин", которому поручено было бы ведение экспериментально-теоретических исследований, имеющих общее значение для всего машиностроения, разрабатывающего методику исследования машин для отраслевых институтов и подготовляющего аспирантов и научных работников высшей квалификации».

Весьма существенное предложение внес также В. В. Добровольский. Так как прикладная механика состоит из четырех частей — общей теории машин, общей теории механизмов, общего курса деталей машин и специальных курсов по машиноведению, то вопрос о необходимости ее преобразования надо рассмотреть относительно каждой из этих частей. «В частности, — писал он, — курс теории механизмов требует наибольшей переработки. Своим традиционным делением на кинематику и динамику механизмов он особенно ярко отражает тенденции формальной зависимости от неизменной теоретической механики» [5]. Добровольский предложил распределять материал в зависимости от классификации механизмов, а последнюю построить на основании структуры. Дело в том, что методы анализа и синтеза механизмов как кинематические, так и динамические целиком зависят от структуры; поэтому целесообразнее рассмотреть полностью, со всех сторон, механизм одной структуры, чем объединять кинематику механизмов такой разной структуры, как шарнирные и зубчатые, а затем в динамике снова возвращаться к уже произведенному и давно забытому кинематическому анализу тех же механизмов.

Выступления в дискуссии были также посвящены частным вопросам, отражавшим интересы советских машиностроителей в ту эпоху. Любопытным было выступление инженера Еромицкого «Машины должны иметь свою систему элементов». Исходя из того, что некоторые изобретения, произведенные в одной отрасли промышленности, находят себе применение в другой, он предлагал составить таблицу, в которой по горизонтали занести

---

[5] *В. В. Добровольский.* Каким должен быть курс теории механизмов. — Газ. «Техника», 1932, № 38.

важнейшие производственные процессы, а по вертикали — производства: клетки этой таблицы заполняли бы машины. Такая таблица, по мнению автора, помогла бы использовать неисчерпаемое богатство «старой» техники. Следует отметить, что идея его была не нова — в сущности прикладная механика и началась с таких таблиц, построенных по идее Монжа Ланцем и Бетанкуром и Ашетом; в клетках таких таблиц размещались «элементарные машины».

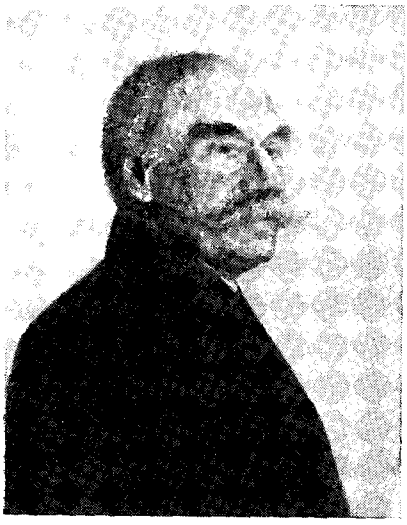
В статье «О социалистическом машиноведении» профессор Е. Л. Николаи указал на то, что нужно развивать методы динамического анализа механизмов, в частности изучение вибраций в машинах. В других статьях были высказаны возражения относительно целесообразности конкретных теорий исполнительных механизмов, изучения теории передаточных механизмов.

Дискуссия, завершившаяся конференцией, показала, что наука о машинах нуждается в коренной переработке. С этим были согласны все, но не было достигнуто согласия, как и в каком направлении следует перестраивать науку. В сущности каждый специалист изыскивал для себя наиболее приемлемый путь, как это было и раньше. Однако дальнейшее развитие науки показало, что правы были И. И. Артоболевский и В. В. Добровольский: высказанные ими мысли легли впоследствии в основу советской школы теории механизмов и машин.

В 1932 г. И. И. Артоболевский был утвержден в ученом звании профессора по кафедре прикладной механики. В этом же году началась его преподавательская деятельность в Московском университете и в Военно-воздушной академии имени Н. Е. Жуковского. В университете он читал ряд курсов для студентов механико-математического факультета, специализировавшихся на прикладной механике, в частности синтез механизмов, динамику машин, теорию регулирования хода машин, курс уравновешивания двигателей.

С 1932 г. началась интенсивная научная деятельность Артоболевского. Как уже указывалось, первые его работы, написанные в период с 1928 по 1930 г., в основном были посвящены отдельным проблемам теории сельскохозяйственных машин, в частности теории пространственных механизмов. Теория пространственных механизмов и впоследствии остается одной из важнейших тем его научного творчества, но диапазон его научных интересов все время расширяется. Он начинает работать над вопросами динамики машин: в 1931 г. выходит книга «Определение моментов инерции опытным путем»; в 1932 г. он разрабатывает вопросы уравновешивания сил инерции в машинах. В эти же годы формируется идея о необходимости построить теорию механизмов на основании одного общего принципа, а также идея о том, что таким основанием могли бы стать классификационные принципы Ассура.

Как уже говорилось, общих методов решения задач по прикладной механике не существовало и приходилось в каждом от-



В. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

дельном случае искать подходящие методы решения. Особенную «виртуозность» в этом отношении проявлял Н. И. Мерцалов. Приемы, к которым он прибегал, теперь хорошо известны, тогда же они были как бы его секретом.

Еще в последние годы учебы в Тимирязевской академии Артоболевский заинтересовался вопросом о необходимости создания общих методов решения задач кинематики механизмов. По рекомендации Мерцалова он проработал труды Рело, Бурместера и Грасгофа. Позже ему попались две статьи А. П. Малышева, опубликованные в Томске в 1923 г., из которых он узнал о работах Ассура, Чебышева и Гохмана. Он долго не мог достать работу Ассура, на которую ссылался Малышев, так как и тогда она была уже библиографической редкостью. Лишь когда к нему перешла библиотека М. И. Фелинского, он смог ознакомиться с трудами Ассура. В 1928 г. на конференции Московского текстильного института Иван Иванович прочел доклад, в котором показал возможности, открываемые методикой Ассура для построения общей теории механизмов.

Однако его заинтересованность идеями Ассура не нашла отклика ни у Мерцалова, ни у Малышева. Мерцалов был представителем французской кинематической школы и обладал колоссальной инженерной интуицией. Малышев же считал, что работы Ассура оторваны от практики, написаны трудно, а разработанные им методы очень сложны.

Иначе отнесся к предложению Артоболевского В. П. Горячкин. В одной из бесед Иван Иванович познакомил его с идеями Ассура и с принципом образования механизмов по методу наслоения ассуровых цепей. Тот заинтересовался теорией, которой раньше не знал, и предложил Ивану Ивановичу написать небольшую монографию, которая была окончена в начале 1930 г. Тогда же, по предложению Горячкина, Артоболевский прочел для сотрудников Машиноиспытательной станции, Научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения и преподавателей Тимирязевской академии курс теории Ассура. Прослушали его и некоторые профессора Академии, в том числе Б. А. Криль, Е. М. Гутьяр, Н. Д. Лучинский.

В курсах прикладной механики, которые И. И. Артоболевский

читал в Институте имени Ломоносова и в Химико-технологическом, он уже широко пользовался идеями Ассура, правда, в несколько измененной трактовке.

Начало работы над развитием идей Ассура относится к 1932 г., когда Артоболевский встретился с В. В. Добровольским.

Н. Г. БРУЕВИЧ

Воспитанник МВТУ, ученик Н. Е. Жуковского, Н. И. Мерцалова, А. И. Сидорова, Добровольский с 1920 по 1922 г. работал профессором Туркестанского университета, затем читал общую и прикладную механику в ряде Московских вузов. В 1929 г. он получил место профессора и кафедру прикладной механики в Военно-воздушной академии имени Жуковского и с этого времени целиком посвятил себя исследованиям в области теории механизмов. Несколько позже он возглавил кафедру механики в Московском станко-инструментальном институте. В 1932 г. Добровольский пригласил Ивана Ивановича к себе на кафедру в Военно-воздушную академию. Тот принял предложение, оставив работу в Ломоносовском институте, где как раз к этому времени произошла реорганизация.

Кроме Добровольского и Артоболевского на этой кафедре работали адъюнкт Н. Г. Бруевич и доцент Г. Г. Баранов. На кафедре была общая программа курса, но Добровольский ее никому не навязывал и разрешал каждому сотруднику читать собственный курс. Творческое отношение культивировалось здесь и по отношению к научной работе. На каждом заседании кафедры заслушивались научные доклады: Добровольский в основном занимался тогда теорией структуры механизмов, Артоболевский — пространственными механизмами, Баранов исследовал вопросы анализа и синтез авиадвигателей, а Бруевич занимался анализом и синтезом кулачковых механизмов, планетарных и дифференциальных передач, уравновешиванием авиадвигателей и другими вопросами динамики машин.

Н. Г. Бруевич по окончанию в 1923 г. Московского университета учился в Московском механическом институте имени Ломоносова, который закончил в 1930 г. Он также одним из первых понял сущность идей Ассура и применил их к вопросам кинематики и кинетостатики механизмов. Этим вопросам была посвящена и его кандидатская диссертация, за которую, по предложению Ар-

Г. Г. БАРАНОВ

тоболевского, ему была присуждена степень доктора технических наук. Его методы кинетостатики механизмов явились существенным вкладом в механику машин.

Г. Г. Баранов, который после В. В. Добровольского руководил кафедрой прикладной механики в Военно-воздушной академии, по окончании Нижегородского университета (1925) и аспирантуры в МВТУ (1929) заведовал кафедрой прикладной механики в Московском авиационном институте, совмещая эту работу с преподаванием в Военно-воздушной академии.

Кафедра Добровольского в Военно-воздушной академии была одним из первых примеров коллективной работы в науке. Происходил обмен идеями: под влиянием Добровольского Иван Иванович и Баранов начали заниматься вопросами структуры механизмов; в результате докладов Артоболевского и его увлеченности теорией пространственных механизмов Добровольский, Бруевич и Баранов также занялись этой проблемой. Исследования Н. Г. Бруевича в области кинетостатики механизмов явились «катализатором» для работ других членов кафедры.

Одновременно И. И. Артоболевский преподавал в Московском институте химического машиностроения. Этот институт был новым и по программам, и по учебным планам, и в значительной степени по составу преподавателей. Для Ивана Ивановича МИХМ стал настоящей школой педагогического мастерства. Здесь он начал совершенно самостоятельно вести преподавание и смог проверить его результаты на своих слушателях. Здесь впервые структура и классификация механизмов были изложены «по Ассуру», было обращено особое внимание на изучение вопросов динамики технологических машин. Вместе со своими помощниками по кафедре, Б. В. Эдельштейном и Т. С. Жегаловой, а позже и с В. А. Зиновьевым, он организовал лабораторию по теории механизмов. На кафедре много внимания уделялось постановке курса, курсовым проектам, лабораторным работам. Именно в МИХМе была впервые отработана методика некоторых вопросов преподавания курса теории механизмов. В этом же институте в 1930 г. (еще до официального открытия института) начал выходить стеклографированными выпусками «Курс теории механизмов и

машин» И. И. Артоболевского, один из первых документов становления советской школы теории механизмов и машин.

В МИХМе у Артоболевского учились А. В. Топчиев, С. В. Кафтанов, А. И. Михайлов, Е. В. Герц, В. И. Сергеев и многие другие, ставшие впоследствии крупными учеными.

Позже Иван Иванович стал читать лекции по прикладной механике в Московском университете.

Преподавание прикладной механики было традиционным для русских университетов начиная с XIX в. В Петербурге этот курс читал буквально с первых дней существования университета Д. С. Чижов, продолжил его П. Л. Чебышев. В Московском университете прикладную механику читали со времени его основания, особенно хорошо этот курс читался во второй половине XIX в. Ф. Е. Орловым. Н. Е. Жуковский читал только фрагменты этого курса, в частности динамику машин и теорию регулирования; впоследствии курс прикладной механики в Московском университете читали Н. И. Мерцалов и Л. П. Смирнов.

Неплохо было поставлено преподавание практической механики и в Киевском университете, где ее читал с 1838 г. Н. А. Дьяченко, а с 1853 г. — Н. И. Рахманинов. Последний значительно расширил программы преподавания: он был сторонником той идеи, что университеты должны взять на себя подготовку инженеров для русской промышленности. В середине века кабинет практической механики был открыт и в Харьковском университете, позже ее там преподавали В. А. Стеклов и А. М. Ляпунов. В конце 20-х—начале 30-х годов XX в. ряд спецкурсов по практической механике там читал профессор А. И. Сырокомский.

В Новороссийском университете школа по кинематике механизмов была создана В. Н. Лигиным; к ней принадлежали такие крупные ученые, как Х. И. Гохман, И. М. Занчевский, Д. З. Зейлигер. Некоторые работы в этом направлении проводились и в Казанском университете. Однако лишь впервые в Московском университете теория механизмов была прочитана с такой исчерпывающей полнотой и на таком высоком научном уровне, как это было сделано И. И. Артоболевским. По поручению А. И. Некрасова он начал читать курс теории механизмов и машин на первом и втором семестрах четвертого курса; кроме того, он читал спецкурсы по выбору студентов.

Иван Иванович был назначен хранителем кабинета практической механики. Кабинет был очень запущен, поэтому его пришлось приводить в порядок, провести инвентаризацию, заняться ремонтом неисправных моделей. Штата в кабинете не было, и все приходилось делать самому хранителю.

Работа в университете явилась для И. И. Артоболевского большой школой и педагогического, и научного мастерства: пришлось изучать специальную литературу, перерабатывать имевшиеся курсы, составлять и обновлять спецкурсы, вносить в них новые идеи. Начинала зарождаться советская школа теории механизмов.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОРГАНИЗАЦИЯ СОВЕТСКОЙ ШКОЛЫ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ

В годы второй пятилетки (1932—1937) в организации науки и высшей школы в Советском Союзе произошли события кардинального значения. Индустриализация шла семимильными шагами, а положение с кадрами продолжало оставаться узким местом: 21 тыс. инженеров и техников, выпущенных советскими учебными заведениями в 1931 г. и 38 тыс. — в 1932 г., не могли удовлетворить потребностей бурно растущей промышленности. Поэтому в 1933 г. перед высшей школой были поставлены две взаимно дополняющие друг друга задачи — увеличить количество выпускников технических школ и улучшить их общенаучную и специальную подготовку. Мелкие специализированные втузы не могли обеспечить высокое качество подготовки, поскольку не обладали ни преподавательскими кадрами, ни учебными лабораториями, а иногда даже более или менее приспособленными помещениями. Была пересмотрена сеть вузов: «малосильные» были слиты и на их базе организованы индустриальные институты и институты по отраслям производства. Естественно, эти мероприятия в определенной степени затронули и принципиальные вопросы преподавания предметов технического цикла. В значительной степени это касалось прикладной механики.

В октябре 1932 г. было организовано Всесоюзное научно-техническое общество машиноведов и конструкторов, объединившее научных работников, преподавателей и заводских инженеров, работавших в области теоретической и прикладной механики, в самом широком ее смысле. В состав общества вошло около 1000 человек — приблизительно одна десятая всех работавших в этом направлении. Весной 1933 г. ВНИТО произвело смотр кафедр прикладной механики в семи московских вузах, сделав при этом следующие выводы: существующие учебники устарели, разные учебные заведения работают по совершенно различным программам и планам, методы преподавания требуют улучшения, в институтах нет лабораторий по прикладной механике.

В декабре 1933 г. было проведено Всесоюзное техническое совещание по машиноведению, созванное ВНИТО машиноведения совместно с ЦНИИТМАШем. На совещании присутствовало 80 представителей научно-исследовательских и проектных институтов, кафедр и заводов. Обсуждались вопросы преподавания при-

кладной механики во втузах, а также некоторые специальные вопросы, с которыми пришлось столкнуться практическим инженерам: вопросы автоматики, вибраций в машинах, теории гидропривода и, самое главное, вопрос о содержании курса прикладной механики, который следовало читать во втузах. Следом за этим совещанием в феврале 1934 г. была созвана Всесоюзная конференция по вопросам теории машин, на которой обсуждалось современное состояние науки о машинах в СССР и за границей, динамические явления в машинах и пути создания науки об автоматах и некоторые другие вопросы.

Переосмысливание основ науки о машинах и работа по составлению новых программ и новых учебников проводилась одновременно в целом ряде вузов. Так как учебники по курсу прикладной механики устарели, приступили к составлению новых, которые и были изданы в 1932—1935 гг. (частично на стеклографе). Упоминавшийся выше курс И. И. Артоболевского вышел в нескольких выпусках: «Теория механизмов и машин» (1930) в двух выпусках, «Конспект курса прикладной механики, ч. 1. Кинематика механизмов» (1931) в девяти выпусках. В 1933 г. также отдельными выпусками была издана «Прикладная механика в заданиях» Н. И. Колчина. Поскольку учебник был написан для заочников и предполагал самостоятельную работу над книгой, основное внимание автор сосредоточил на детальном анализе примеров. В 1932—1934 гг. Л. Г. Лойцянский и А. И. Лурье издали теоретическую механику в трех томах. Благодаря насыщенности примерами из технической практики, главным образом из теории машин, работа стала одним из лучших пособий по курсу не только теоретической, но и прикладной механики. Принятый авторами метод также предполагал активную самостоятельную работу учащегося над книгой.

Значительное распространение получили учебники А. П. Малышева, А. П. Иванова (в соавторстве с М. В. Дубровиным, М. В. Семеновым, Н. И. Фугенфировым), С. В. Вяхирева и, в особенности, четвертое издание двухтомного курса Л. Б. Левенсона. В 1932 г. была опубликована «Кинематика механизмов» Г. Г. Баранова.

Учебник А. П. Малышева значительно отличался от других книг, изданных в то время. Автор пользовался при изложении собственной классификацией и теорией структуры механизмов, которую он разработал еще в Томске. Структура и синтез механизмов занимали большую часть курса — для того времени это было нововведением. Однако при исследовании примеров, в основном из практики текстильного машиностроения, Малышев или совсем не пользовался своими структурными разработками, или пользовался в недостаточной степени: получался логический разрыв между отдельными частями книги.

Более цельным был учебник А. П. Иванова и его сотрудников по кафедре Ленинградского института инженеров-механиков со-

циалистического земледелия. Учебник состоял из двух частей — теории механизмов и теории машин. В первую часть входили два отдела: структура, синтез и анализ механизмов и кинематика главнейших передаточных механизмов, во вторую часть — также два отдела, посвященные изучению равновесного и неравновесного движения машин. К книге была приложена достаточно подробная библиография, в частности была ссылка и на монографию Ассура (сам А. П. Иванов был учеником Ассура и слушал у него прикладную механику в Петроградском политехническом институте). Однако идеями Ассура авторы не пользовались.

Кинематике механизмов был посвящен и учебник С. В. Вяхирева. Книга базировалась главным образом на работах ученых немецкой школы — Рело, Бурместера и Виттенбауэра. Раздел, посвященный общим понятиям теории механизмов и структуре механизмов, был написан по работам Рело и Глюблера, синтез механизмов изложен по Бурместеру и Альту, предварительно предпосланы сведения из кинематической геометрии. В книге рассмотрены плоские шарнирные механизмы, кулачковые механизмы и механизмы с перекрывающимися рычагами. Изложена классификация механизмов по Линену, однако автор ею совершенно не пользуется. Таким образом, содержание книги было довольно ограниченным и в сущности не соответствовало ее заглавию. Однако учебник сыграл полезную роль — ознакомил советских инженеров и механиков с достижениями немецкой школы теории механизмов, тем более что оригинальные работы школы были не всегда доступны.

Важную роль в 20-х и 30-х годах сыграли учебники Л. Б. Левенсона. Левенсон, крупнейший конструктор и специалист по теории горно-металлургического оборудования, в начале 30-х годов перевелся из Ленинграда в Московскую горную академию. Он отличался громадной инженерной интуицией и большим опытом при глубоком знании машин и технологических процессов. Ему принадлежали основополагающие монографии по теории и расчету горных и обогатительных машин, а также ряд прекрасных учебников для высшей школы.

В учебниках Левенсона по теории механизмов «Кинематика механизмов» и «Статика и динамика машин» материал излагался на большом количестве примеров, взятых из технической практики. В качестве классификации автор принял, как, впрочем, и большинство отечественных и иностранных теоретиков того времени, один из вариантов классификации Виллиса. Во втором томе «Статики и динамики машин» в трактовку понятия «силы инерции» автор внес некоторую путаницу, что послужило поводом для дискуссии о силах инерции (которая происходила в 1936—1937 гг.).

Дискуссия была открыта письмом заведующего кафедрой теоретической механики Одесского университета Г. К. Суслова в редакцию журнала «Вестник инженеров и техников» с просьбой

поместить приложенную к письму статью научного сотрудника кафедры Я. Б. Шора, как писал Суслов, выражавшую мнение всего коллектива кафедры. Непосредственной причиной этого обращения явилось опубликованное незадолго до этого в том же журнале письмо самого Левенсона с просьбой исправить замеченную им в своей книге «Статика и динамика машин» ошибку по вопросу о силах инерции. Далее он писал, что внимательно просмотрел книгу и больше ошибок в ней не нашел. Шор же утверждал, что Левенсон «глубоко заблуждается в простом, но важном вопросе о силах инерции. Вся книга изобилует ошибками по этому вопросу. Говоря о силах инерции, автор выражается весьма неточно, смешивает различные понятия, приводит неверные доказательства и мистические объяснения». По существу дело упиралось в то, что Левенсон, большой инженер, прекрасно понимавший проблему сил инерции и безукоризненно решавший соответствующие практические задачи, не был четок в своих формулировках.

Л. Б. ЛЕВЕНСОН

Статья Я. Б. Шора была опубликована в «Вестнике инженеров и техников» № 3 за 1936 г. В том же номере журнала содержался и ответ Л. Б. Левенсона, который, однако, не мог полностью удовлетворить читателей.

Вопрос о сущности сил инерции заинтересовал очень многих механиков и машиноведов, и в редакции журналов и газет посыпались письма с просьбой, чтобы Л. Б. Левенсон ответил на замечания Шора по существу. Левенсон изложил свои взгляды на понятие «силы инерции» сначала в небольшой статье, напечатанной в газете «Техника» 15 июля 1936 г., а затем в двух больших статьях, опубликованных в «Вестнике инженеров и техников» (1936, № 6) и в философском журнале «Под знаменем марксизма» (1936, № 8).

В одной из этих статей[1] Левенсон писал: «В вопросе о силах инерции существует не только полная неувязка между теорией и практикой, но налицо и принципиальный спор: техники давно уже ведут расчеты машин, учитывая реальность действия сил

[1] *Л. Б. Левенсон.* Проблема сил инерции и динамика машин. —«Под знаменем марксизма», 1936, № 8.

инерции; тысячи машин строятся и работают на основе таких расчетов, а „теоретики“, упорно не считаясь с фактами, по-прежнему настаивают на „нереальности“ сил инерции, утверждают, что эти силы „вовсе не существуют“, что они „воображаемые“, что силы инерции — „условный геометрический вектор“, вводимый „для удобства расчета“, что это „математическая фикция“ и т. п.

... Этот полный и недостойный по своей вредности для дела разлад между „теорией“ и „практикой“, длящийся уже свыше 200 лет, проник даже в школу, вызывает протесты как с той, так и с другой стороны, обычно весьма резкие со стороны теоретиков, в то время как техники, большей частью избегая принципиальных споров с более агрессивным противником, продолжают рассчитывать машины по силам инерции, отлично зная по опыту, что машину разнесет в куски, если они не учтут реального действия этих сил».

Далее Л. Б. Левенсон анализирует высказывания о сущности сил инерции 62 авторов учебников и исследований по теоретической и прикладной механике. Оказывается, что из этого числа только 10 авторов высказались за реальность сил инерции как реакции материи на сообщаемое ей внешней силой ускорение. «Остальные же авторы-теоретики или умалчивают о сути вопроса, по-видимому трактуя член $m\frac{d^2x}{dt^2}$ как чисто математическую величину, или же подчеркивают „фиктивность“ самой силы инерции, в то же время признавая реальность действия сил инерции на связь, передающую ускорение».

В результате Левенсон приходит к ряду выводов, важнейшими из которых являются следующие:

— проблема сил инерции существует, ибо ученые до сих пор не пришли к единому мнению об их сущности;

— силы могут быть активными и реактивными, к последним относятся силы трения, сопротивление среды, силы упругости и силы инерции.

Своеобразие сил инерции заключается в следующих особенностях: 1) по происхождению и действию сила инерции стоит особняком, не являясь ни внешней, ни внутренней (в узком понимании) силой; 2) возникающие в одиночку (не парными) силы инерции должны быть уравновешены; 3) при отсутствии физической связи, передающей ускорение, сила инерции, хотя и существует как кинетическая реакция материи, не может в явном виде проявить свое действие; 4) при свободном движении материальной точки из-за полного отсутствия связей действие сил инерции также не может явно проявиться; 5) точно так же действие силы инерции не может проявиться, когда ускоряющая сила действует непосредственно на каждую частицу тела, минуя связи, и сообщает всем частицам равные и параллельные ускорения.

Принцип Даламбера следует формулировать так: при всяком движении тела, в том числе при движении его с ускорением, всегда существует равновесие между всеми силами как приложенными к нему внешними силами ΣP, включая силы связей, так и развиваемые им при движении с ускорением силами инерции ΣC с соответствующими знаками для направления каждой силы, так что всегда $\Sigma P + \Sigma C = 0$.

Это значит, что при движении тела с ускорением внешние силы, включая силы связей, уравновешиваются силами инерции, так что уравнение $\Sigma P + \Sigma C = 0$ выражает динамическое равновесие всех этих сил, но не тела.

Во время дискуссии было высказано много мнений, зачастую противоречивых и отнюдь не уяснивших суть дела. Вместо того, чтобы исследовать понятие, исследовалось так называемое уравнение Даламбера или разбиралась (на подходящих примерах) техническая сущность задач о силах инерции. Некоторые авторы, критикуя Левенсона, предлагали свои, также ошибочные, толкования понятия, и критика начинала становиться взаимной и многоликой. Дискуссия перекинулась на страницы других журналов и газет. Более серьезной попыткой разобраться в проблеме была статья С. Л. Соболева; наконец, в трудах Ленинградского индустриального института (1936, № 6, вып. 1) профессор Е. Л. Николаи подвергнул историко-критическому анализу сам принцип Даламбера как исходный источник всех недоразумений.

Завершилась дискуссия двумя редакционными статьями в журнале «Под знаменем марксизма», где, в частности, отмечалось, что в духе дискуссии выявилось недостаточное знакомство многих ее участников с философией, а также с работами классиков механики, вследствие чего давалась неправильная трактовка принципа Даламбера.

Дискуссия не привела ни к каким конкретным положительным результатам, однако привлекла внимание ученых к некоторым вопросам теории, показав, что даже там, где все кажется точным, как в классической механике, на самом деле остается много неясностей.

В сущности это был спор между математиками-теоретиками и машиностроителями-практиками о теории механизмов. Вопрос был поставлен так: будет ли теория механизмов развиваться как чисто теоретическая наука, как один из разделов аналитической механики, или же пойдет по пути практики, как некоторые немецкие направления в этой области. История показала, что путь, которым пошла советская школа теории механизмов и машин, лежал между этими направлениями: удалось найти некоторую равнодействующую и развивать исследования, учитывающие интересы теории механизмов и как раздела механики, и как теоретической базы машиностроения.

Следует отметить, что уже в эти годы в советском машиностроении появилось новое направление, которое впоследствии раз-

вилось в большую и существенно важную отрасль. Речь идет о машинах автоматического действия. Становление его было нелегким: ни промышленность, ни наука не имели никакого задела в этом направлении и все следовало начинать «с нуля». Не было даже достаточно развитой теории кулачковых механизмов, совершенно отсутствовала теория пневматического и гидравлического привода.

Но не только в отсутствии интереса к некоторым конкретным задачам была слабость разработок в области теории механизмов и машин, выполненных в Советском Союзе в начале 30-х годов. Отсутствовала общая объединяющая идея и слишком большим было расхождение по всем основным вопросам теории, чтобы можно было говорить о какой-либо школе. Направления, которые развивали Н. И. Мерцалов, А. П. Малышев, Я. В. Столяров и некоторые другие, не могли создать школы: теоретических основ здесь или не было совсем, или же они были столь незначительны, что авторы, декларируя свои классификационно-конструктивные построения, вскоре совершенно забывали о них и дальнейшие рассуждения вели, исходя из методов едва ли не столетней давности, идущих от Виллиса и его ближайших учеников.

Работы И. И. Артоболевского, выполненные в период с 1933 по 1937 г., «вписываются» в три темы: теория пространственных механизмов, кинетостатика, структура и классификация механизмов.

Первая тема была продолжением и развитием работ, начатых еще в студенческие годы. Исходя от некоторых задач кинематики пространственных механизмов сельскохозяйственных машин, Артоболевский выделил группу сферических механизмов, исследовал их кинематику и обнаружил существенное сродство между ними и плоскими механизмами. Это было важным шагом вперед, так как до этого в теории пространственных механизмов решались задачи, вообще говоря, совершенно не связанные друг с другом.

Одновременно он начинает исследование очень интересной группы механизмов с качающимися шайбами и создает их теорию. Наконец, в 1937 г. выходит из печати его обобщающая монография «Теория пространственных механизмов».

Исследование начинается очерком теории кинематических пар, которые автор классифицирует по числу условий связи и по числу степеней свободы. Затем он рассматривает общий случай пространственной кинематической цепи и некоторые частные случаи и подсчитывает их число степеней свободы. Пользуясь главным образом методами проективной геометрии и некоторыми положениями теории винтов, исследует движение звеньев пространственных механизмов, а также вопросы определения построения положений, скоростей и ускорений механизмов.

Вторая часть монографии (главы IV—VII) посвящена построению структуры и классификации механизмов и выяснению общих методов их исследования. В качестве классификацион-

ного признака принята не структурная, а геометрическая характеристика механизмов. Так, механизмами первого класса (сферическими) называются такие, у которых все оси кинематических пар пересекаются в одной общей точке. В соответствующем разделе значительное внимание уделяется изучению механизмов качающихся шайб и их разнообразных технических применений.

По аналогии с первым классом ко второму классу относятся механизмы, все оси которых пересекаются в двух точках, к третьему — все оси которых пересекаются в трех точках, к четвертому — все оси которых выходят из четырех центров, к пятому — у которых оси вращательных пар выходят из пяти центров, к шестому — из шести центров и к седьмому — у которых оси вращательных пар выходят из семи центров. Такая классификация не охватывает всех возможных цепей, но она явилась первым шагом в этом направлении. Интересно, что уже здесь И. И. Артоболевский применяет методику Ассура, использованную им при построении плоских механизмов: для сложных пространственных механизмов он строит группы нулевой степени свободы, которые наслаивает на систему, имеющую одну степень свободы.

В этом исследовании впервые для пространственных механизмов была построена логически стройная классификация и обнаружены общие методы исследования для механизмов отдельных классов. Монография содержала много новых идей и давала читателю материал для размышлений.

Второе направление творчества Артоболевского было посвящено исследованиям в области кинетостатики и динамики машин. Сюда относятся: исследование динамики сельскохозяйственных машин, графические методы исследования кинетостатики плоских и пространственных механизмов, одно из первых в мировой литературе исследований машин вибрационного действия — вибрационного грохота, ряд работ, посвященных теории сельскохозяйственных машин.

И. И. Артоболевский принимает деятельное участие в создании «Технической энциклопедии», для которой пишет ряд статей, участвует в написании многотомной коллективной монографии «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин», в соавторстве с С. И. Артоболевским и Б. В. Эдельштейном работает над монографией «Теория и методы уравновешивания щековых дробилок», продолжает работу над курсом «Теория механизмов и машин», составляет программу этого курса для Московского университета.

В 1936 г. Чаплыгин и Мерцалов вошли с ходатайством в Президиум АН СССР о присвоении И. И. Артоболевскому степени доктора технических наук без защиты диссертации. Представление зачитал Чаплыгин, затем Мерцалов дал оценку работ Артоболевского, особо остановившись на его исследованиях в области теории пространственных механизмов и теории сельскохозяйственных машин; представление было поддержано Г. М. Кржижа-

новским, назвавшим Артоболевского самым талантливым учеником Горячкина.

Основным местом работы И. И. Артоболевского все эти годы продолжала оставаться Военно-воздушная академия. Со второй половины 1936 г. к работе в Академии, МИХМе и МГУ добавилась работа в так называемой бригаде по машиноведению. Бригады были первыми структурными подразделениями, созданными при Техническом отделении Академии наук по инициативе его первого председателя академика Чаплыгина. По отдельным направлениям технических наук были организованы комиссии. Комиссия по машиноведению, председателем которой был Е. А. Чудаков, состояла из семи бригад; бригада по теории механизмов и машин возглавлялась Л. Б. Левенсоном, а секретарем ее был избран Артоболевский.

На первом заседании бригады по теории механизмов был заслушан доклад Е. А. Чудакова о новых методах расчета зубчатых передач. На следующих заседаниях докладывали Н. И. Мерцалов, Л. Б. Левенсон, Л. П. Смирнов и другие. В октябре 1936 г. В. В. Добровольский прочел доклад «Основные принципы классификации механизмов», в котором изложил основы классификации и структуры механизмов по Ассуру. Несколько позже в докладе «Современное состояние теории механизмов и машин и ее прогресс за последние двадцать лет» Н. Г. Бруевич высказал мысль о необходимости развивать методы синтеза механизмов. Тогда же А. П. Малышев в сообщении «О применении прикладной механики в области текстильного машиностроения» показал, как можно применять методы общей теории механизмов и машин к практике конкретной отрасли машиностроения.

Заседания бригады посещали многие ученые, занимавшиеся вопросами теории машин и механизмов, и вскоре они были преобразованы в семинар. Председателем семинара Чудаков назначил Л. Б. Левенсона, однако из-за ухудшегося здоровья тот в начале 1937 г. передал его Н. И. Мерцалову, а в конце того же года руководство семинара было возложено на И. И. Артоболевского. В это же время Ивану Ивановичу было поручено подготовить материалы и документацию, необходимые для организации Института машиноведения.

Продолжалась и общественная деятельность И. И. Артоболевского. Он был членом бюро секций научных работников, принимал деятельное участие в различных комиссиях Московского отделения секции научных работников, возглавлял программно-методическую комиссию при Главном управлении учебными заведениями Наркомата тяжелой промышленности и работал в Комитете по высшему техническому образованию при ЦИК СССР.

Кроме того, приходилось участвовать в различных комиссиях и технических экспертизах. В частности, вместе с Чаплыгиным Иван Иванович провел экспертизу по «шаропоезду» изобретателя

Ярмоленко. Изобретатель построил модель, которая передвигалась по неподвижным каткам и при малых скоростях отлично работала. Однако это была лишь модель: инженерное решение задачи оказалось совершенно иным.

Проведя все необходимые расчеты, оба эксперта пришли к отрицательному выводу о годности изобретения. Вопреки отрицательной экспертизе, поддержанной также рядом других специалистов, по распоряжению наркома Л. М. Кагановича был построен опытный участок дороги, который, как и следовало ожидать, оказался неработоспособным.

С. А. ЧАПЛЫГИН

Случались и более «сложные» экспертизы. Однажды Чаплыгин передал Артоболевскому толстую рукопись с описанием и расчетом сложнейшего многоступенчатого дифференциального механизма с замкнутой схемой. Кинематика механизма была рассмотрена изобретателем вполне корректно, но вопросы динамики механизма, его КПД и вопросы прочности звеньев были решены неграмотно. Литературы в то время по сложным механизмам такого типа не было, а поэтому эксперту пришлось проделать очень большую и кропотливую работу по проверке всех расчетов. После этого он встретился с изобретателем, чтобы выяснить, где и как тот собирается применить свой редуктор. Оказалось, что он предполагал установить его на Северном полюсе и с его помощью привести во вращение маховик гироскопа очень большого размера. Изобретатель показал еще один том рукописи, где, по его словам, были приведены доказательства последствий запуска такого гироскопа: под влиянием гироскопического эффекта ось Земли повернется на несколько градусов и в СССР наступит потепление. Изобретатель был явно «не совсем здоров». Артоболевский пошел советоваться к Чаплыгину, но тот ответил: «Ты, Иван Иванович, его ко мне не води, я „их“ боюсь. Да и климатом московским я доволен».

Были другие подобные случаи, сводившиеся к проблеме вечного двигателя. Передавая такое очередное изобретение, Чаплыгин говорил: «Вот вам на рассмотрение очередной вечный двигатель. Меня в это дело не вмешивайте, так как даже Жуковский и тот не всегда мог доказать изобретателю, что он предлагает вечный двигатель».

Вообще в разговорах часто вспоминали Жуковского. По словам Мерцалова, Жуковский необычайно высоко ценил С. А. Чаплыгина как ученого: «Если я являюсь поклонником геометрических методов в теоретической механике, — говорил он, — то Сергей Александрович является полной моей противоположностью, он как никто владеет аналитическими методами и для него полученная математическая зависимость заменяет все: чертеж, график и даже натуральную физическую модель».

С Чаплыгиным Ивана Ивановича познакомил Мерцалов, который был с ним в дружеских отношениях и принимал участие в экспертизах проектов, предложений и изобретений, направлявшихся Чаплыгину. Однажды Артоболевский спросил Чаплыгина, почему он не читает лекций в университете. «А меня сняли студенты», — ответил Чаплыгин и рассказал, как студенты, слушавшие его лекции в 20-х годах, подали ректору заявление с просьбой освободить их от профессора, который так непонятно и плохо излагает свой предмет.

В университете Артоболевский сперва числился по кафедре, которой руководил А. И. Некрасов. На той же кафедре преподавали А. П. Минаков, Б. В. Булгаков, И. И. Метелицын, И. В. Станкевич. В начале каждого учебного года нагрузка распределялась между всеми профессорами: отдельные разделы курса теоретической механики приходилось читать всем. Позже была выделена кафедра прикладной механики, заведующим которой был назначен Б. В. Булгаков; специализация на этой кафедре шла по трем направлениям — теории колебаний, теории механизмов и машин и динамике твердого тела (теории гироскопа). Кроме чтения курса теории механизмов и некоторых спецкурсов, Артоболевскому приходилось заменять Булгакова, который часто болел, и читать отдельные главы теории колебаний.

В эти годы для Ивана Ивановича кабинет механизмов МГУ стал такой же творческой лабораторией, какой в 20-х годах была Машиноиспытательная станция Тимирязевской академии. Вечером после лекций он засиживался там допоздна: чинил и смазывал механизмы, читал и проверял студенческие работы, готовился к лекциям. В перерывах между лекциями сюда приходили А. И. Некрасов, Н. Н. Бухгольд, А. С. Лейбензон, И. В. Станкевич, А. П. Минаков, здесь велись беседы на научные и ненаучные темы. Здесь Артоболевский подружился с Лейбензоном, одним из учеников Жуковского, создателем гидродинамики вязкой жидкости. Лейбензон был большим эрудитом в математике, механике, в инженерных науках. Чрезвычайно знающим и образованным специалистом был и Бухгольц. Все свободное время он читал — главным образом литературу по механике. У него всегда можно было получить самую исчерпывающую информацию по любому вопросу в области механики. С Минаковым Иван Иванович был в дружеских отношениях еще со времени их совместной работы в Московском текстильном институте. Это был человек

широких интересов — хорошо знал литературу, разбирался в живописи.

В эти годы в жизни Ивана Ивановича произошло еще одно знаменательное событие: в 1936 г. он женился на Ольге Николаевне Алексеевой-Калашниковой, преподавателе вокала в музыкальном техникуме имени Глазунова. Жили в одной комнате, где стоял рояль, а рядом письменный стол Ивана Ивановича. К Ольге Николаевне приходили ученики, пели, а Иван Иванович привыкший, по его словам, «выключаться», спокойно работал, не обращая внимания на «соседство» музыкантов.

С. Н. КОЖЕВНИКОВ

Мы видели, как постепенно идеи, развитые в свое время Ассуром, осваивались советскими учеными и как на их основе начало создаваться новое учение о структуре и классификации механизмов, которому было суждено стать первым научным заделом советской школы теории механизмов и машин. С 1937 г. в программы вузов был включен курс структурной классификации плоских механизмов по Ассуру. Кинематический и кинетостатический анализ механизмов также проводился в соответствии с этой классификацией.

Первой попыткой практического применения классификации Ассура явились исследования Н. Г. Бруевича в области кинематики и кинетостатики плоских механизмов, выполненные в 1935 г. Уже в ближайшие два-три года они начали «явочным» порядком проникать в высшую техническую школу. В 1937 г. доцент Московского авиационного института С. Н. Кожевников прочел в Московском институте повышения квалификации инженеров курс по структурному, кинематическому и кинетостатическому анализу плоских механизмов, который несколько позже (в 1938 г.) был издан на стеклографе. Кожевников указал, в частности, что отличие этого курса от иных курсов по теории механизмов заключается в том, что он излагает общие методы кинематики в применении к конкретным механизмам, тогда как обычно акцент делается на частных механизмах, а общие методы вообще не излагаются. В этом курсе Кожевников рассмотрел не только механизмы, образованные наслоением двухповодковых групп, но и более сложные, в состав которых входят трехповодковые группы. При написании курса он использовал как свой опыт, так и опыт

других преподавателей кафедры теории механизмов Московского авиационного института.

Разработкой некоторых вопросов кинематического и кинетостатического анализа занимался в эти годы также Г. Г. Баранов: он исследовал семизвенный пространственный механизм в общем виде и при помощи методов начертательной геометрии решил вопрос о построении положений этого механизма. Работа «Кинематика пространственных механизмов» позднее стала основой его докторской диссертации.

Что касается вопросов динамики машин, то они в этот период были ограничены главным образом задачами уравновешивания сил инерции, определением КПД и решением некоторых частных задач применительно к технологическим машинам различных отраслей техники.

Повышение интереса к проблемам частных технологических машин было одной из характерных особенностей советской науки 30-х годов. Отечественное машиностроение создавалось буквально «на пустом месте»: не было ни квалифицированных рабочих, ни конструкторов, ни инженеров-технологов, которые могли бы обеспечить производство новых машин. Помочь им могла техническая литература — учебная, справочная, периодическая. Между тем теории технологических машин не существовало, соответствующие курсы, которые начали появляться в некоторых странах (например, курс Рюльмана в Германии), были описательными, и заводским конструкторам приходилось строить машины по подобию. Это было возможно в Германии и других промышленно развитых странах, где существовало это «подобие» и был соответствующий опыт; для советской же техники такой метод был неприемлем.

Первым опытом создания теории технологических машин была «Земледельческая механика» В. П. Горячкина, в которой он впервые подошел к исследованию машин не как наблюдатель, а как ученый: не он учился у техников, а наоборот, сам обучал их науке строить машины. Опыт Горячкина и его учеников и последователей был распространен в 30-х годах на технологические машины других производств. Так, началось исследование механизмов с высшими парами, входящих в состав различных технологических машин, — кулачковых, зубчатых, а также некоторых специальных механизмов. Динамика машин, которая изучалась до того времени лишь на примере энергетических машин, главным образом паровых, теперь начинает распространяться и на некоторые технологические машины: горные и горно-обогатительные (Л. Б. Левенсон), текстильные (А. П. Малышев), химическое машиностроение (И. И. Артоболевский) и др.

Таким образом, за несколько лет советская наука о машинах сделала существенный шаг вперед. Она получила и свой организационный центр, что существенно облегчило ее дальнейшее развитие. Подготовительный период создания советской

школы теории машин в основном был завершен: в результате длительного развития теория механизмов и машин, в тесном взаимодействии с практическим машиностроением, начинает приобретать формы логически стройной науки. Обе дискуссии — о прикладной механике и о силах инерции — выявили слабые места науки о машинах и в какой-то степени прояснили направление ее дальнейшего развития. В то же время глубокому исследованию подверглись проблемы теории механизмов, решение которых в то время было особенно важно для советского машиностроения — теория пространственных механизмов, общие методы кинематического и кинетостатического анализа, проблемы структуры и классификации механизмов, ставшие объединяющим стержнем новой науки. В 1937 г. была разработана новая программа обучения теории механизмов, базирующаяся на идеях Ассура, и тем самым покончено с разнобоем в преподавании. Однако это потребовало создания новых учебников, соответствующих утвержденной программе.

Организация комиссии и семинара по теории машин и механизмов явилась логическим завершением подготовительного этапа и началом нового этапа формирования школы, внедрения коллективных методов исследования, быстрого развития теории механизмов и машин как науки и как одной из важнейших дисциплин подготовки инженеров. Требования развивающегося советского машиностроения приблизили науку к производству: практика начала контролировать не только результаты теоретических исследований, но и направления, в которых развивалась наука. С другой стороны, необходимость решать порой весьма сложные задачи заставила обратить внимание на развитие теории механизмов и машин в общих рамках механики, одновременно совершенствуя и углубляя ее математический аппарат. И, наконец, необходимость иметь дело с действительными машинами заставила отойти от прежней абстрактной модели: рассмотрению в первую очередь подвергается уравновешивание вращающихся и поступательно двигающихся масс и вибрационные процессы — отсюда и более пристальное внимание к экспериментальным методам исследования, которые в 30-х годах начинают применяться и в кинематических исследованиях, и в динамике машин. На смену «классическим» задачам теории механизмов приходят задачи теории привода, затем теории машин автоматического действия и, наконец, синтеза механизмов. Это заставляет обратить внимание на изучение классического наследства отечественных и зарубежных ученых.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРЕДВОЕННЫЕ ГОДЫ И ВЕЛИКАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ВОЙНА

Первые годы школы теории механизмов и машин совпали по времени с началом третьей пятилетки. Совпадение отнюдь не было случайным. Бурный рост советского машиностроения, новые задачи и новые проблемы требовали от научно-исследовательских и проектных институтов, от высшей технической школы большой оперативности. Надо было создавать новые типы машин, разрабатывать новые технологические процессы, искать новые пути дальнейшего развития машиностроения. Таким образом, весь цикл наук о машинах, начиная от фундаментальных направлений механики и кончая техническими науками, непосредственно выполняющими производственные разработки, должен был «включиться» в выполнение этих больших и неотложных задач.

Особым было положение теории механизмов и машин: выйдя за пределы старой прикладной механики, она, с одной стороны, все больше прибретала черты фундаментальной науки, с другой же — стремилась приблизиться к реальным машинам, к действительным условиям их работы, т. е. приобретала некоторые черты технической науки. Это двойственное положение «на стыке» было ее сильной стороной, но одновременно послужило причиной больших и малых неприятностей для ученых и специалистов.

В свое время П. Л. Чебышев так оценил взаимоотношения теории и практики: «Сближение теории с практикой дает самые благотворные результаты, и не одна только практика от этого выигрывает, сами науки развиваются под влиянием ее, она открывает им новые предметы для исследования или новые стороны в предметах давно известных. Несмотря на ту высокую степень развития, до которой доведены науки математическими трудами великих геометров трех последних столетий, практика явно обнаруживает неполноту их во многих отношениях; она предлагает вопросы существенно новые для науки и, таким образом, вызывает на изыскание совершенно новых методов. Если теория много выигрывает от новых приложений старой методы или от новых развитий ее, то она еще более приобретает открытием новых метод, и в этом случае наука находит себе верного руководителя в практике» [1].

---

[1] *П. Л. Чебышев.* Полное собрание сочинений, т. V. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1951, стр. 150.

В этих словах великий русский математик, основатель Петербургской математической школы, резюмировал собственный опыт: можно сказать, что в них запечатлена сущность научного метода Чебышева, которому наука обязана не только важными математическими исследованиями, но и введением в механику машин новых исследовательских методов, имевших существенное значение для дальнейшего развития мировой науки. В частности, ему принадлежит введение математических методов в науку о машинах, причем не как подход со стороны, извне, а как логическое развитие определенной постановки самих задач теории механизмов. К сожалению, слова учителей часто забываются и к их творчеству возвращаются неохотно. А между тем не всегда в науке все, высказанное ранее нас, является пройденным этапом.

За годы первой и второй пятилеток, в небывало короткий срок, в Советском Союзе было создано машиностроение, причем и по своему оснащению, и по характеру своей продукции — одно из самых прогрессивных в мире. Появилась возможность реконструировать на основе новой техники и другие отрасли народного хозяйства.

Одной из старейших областей машиностроения в нашей стране было сельскохозяйственное. Сельскохозяйственные машины строили в России и в XIX столетии: они были несложны по конструкции, дешевы, в них легко мог разобраться человек с самыми элементарными знаниями. Строить их было легко и выгодно: в качестве образцов можно было выбрать любую машину из тех, которые предлагали немецкие, английские или американские фирмы.

А между тем дело обстояло не так просто, как казалось. В сельскохозяйственном машиностроении, как редко в какой-либо другой отрасли производства, проявилась необходимость научного подхода к проектированию машин. Выяснилось, что их нормальной работе препятствует много факторов, которые, как казалось, невозможно было предусмотреть заранее.

Н. Е. Жуковский недаром требовал от своих учеников, чтобы они имели и университетское и техническое образование; он прекрасно понимал, что Россия в техническом отношении отстала от других государств и сила ее в другом: в научном подходе к решению задачи. Ученики Жуковского на деле показали, как они усвоили уроки своего учителя. Вероятно поэтому вслед за гениальным взлетом ввысь «отца русской авиации» Жуковского последовало углубление в землю его ученика Горячкина: оказалось, что форма отвала плуга едва ли проще крыла самолета, что механизмы молотилок очень сложны, а механизмы и плуга и культиватора нельзя спроектировать только на одну плоскость. Именно поэтому по инициативе Горячкина Мерцалов начал свои исследования (и свой курс) по теории пространственных механизмов. Поэтому и творчество Артоболевского в самой своей основе было связано с проблемами сельскохозяйственного машино-

строения. Переход сельского хозяйства на машинные рельсы добавил к этому новые проблемы: были созданы отечественные сельскохозяйственные машины и комбайны, а следом за ними специализированные комбайны для уборки различных культур, явившиеся результатом большой и глубокой работы советских теоретиков-машиностроителей.

Затем выдвинула свои проблемы авиация. Оказалось, что в области аэродинамики многие механизмы нельзя свести к плоским и для их расчета нужно пользоваться методами теории пространственных механизмов, которой тогда не существовало. Тем временем советская авиация наращивала темпы развития: к концу второй пятилетки у нас уже были и самолетостроительные, и моторостроительные заводы, и заводы, выпускавшие отдельные детали и узлы самолетов. Встал вопрос о возможности быстрого перехода с одной модели на другую, более совершенную. Для этого недостаточно было только инженерных разработок, нужны были глубокие научные исследования, среди которых особенно существенными оказались задачи пространственной кинематики и уравновешивания авиадвигателей.

Одно из древнейших в России текстильное производство основывалось на импортных машинах. Текстильное машиностроение возникло уже в годы Советской власти, и оказалось, что структура текстильных машин весьма сложна, и они являются одними из первых представителей машин автоматического действия. Для теории механизмов и в этой области был непочатый край работы.

Важную роль начало играть в годы довоенных пятилеток и пищевое машиностроение. Население городов росло, и, чтобы его накормить, требовалось создать совершенно новую отрасль индустрии — пищевую. А следовательно, надо было заново создавать пищевое машиностроение. Оказалось, что здесь также важную роль играют машины автоматического действия. В конструкции пищевых машин появляются сложные зубчатые и кулачковые механизмы, с которыми техники еще недостаточно знакомы. Правда, к концу второй пятилетки увеличился импорт машин для легкой и пищевой промышленности, были приобретены технические новинки, что дало возможность ускорить реконструкцию отрасли. Но принципы построения пищевых машин, техническая культура этой сложной отрасли машиностроения послужили обширным полем деятельности для специалистов в области теории механизмов и машин.

В планах советских пятилеток одно из самых важных мест занимало развитие станкостроения. Правда, в первые годы станкостроение давало немного простора для размышлений: конструкции станков «устоялись» и требовали лишь частичных улучшений, новые модели не особенно отличались от прежних, имевших давность, оцениваемую несколькими десятками лет. Некоторые интересные задачи сводились в основном к теории зубчатых зацеп-

лений и кулисных механизмов, иногда с группами третьего порядка по системе Ассура. Однако уже в годы второй пятилетки положение изменилось: было налажено серийное, а иногда и массово-поточное производство металлообрабатывающих автоматов и полуавтоматов. Мысль ученых начала интенсивно работать и в этом направлении.

И, наконец, военная техника. Не следует забывать, что к концу 30-х годов электроника еще не существовала и для решения артиллерийских задач использовались сложные шарнирные механизмы. Важную роль в этом направлении сыграли теория структуры механизмов и теория точности.

Задачи структуры механизмов интересовали ученых на протяжении всей истории механики машин. Однако их решение оказалось настолько сложным, что к концу XIX в. была создана лишь теория кинематических пар и кинематических цепей. Увязать вопросы структуры с вопросами классификации механизмов наука была не в состоянии, не были уяснены даже принципы построения подобной классификации. Создание последней стало результатом трудов советских ученых. В первой половине 30-х годов И. И. Артоболевский, а затем Добровольский, Бруевич и Кожевников переносят идеи Ассура на практику. Далее начинается развитие теории и обобщение ее на случай сферических и пространственных механизмов и, наконец, составление общей классификации, которая объединила все созданные механизмы и выяснила пути создания еще неизвестных механизмов.

В 1936 г. Артоболевский в статье «Сложные сферические механизмы» показал, что структура сферических механизмов тождественна структуре плоских и что, очевидно, между этими двумя группами должно существовать некоторое сродство. Тем самым было доказано, что пространственные и плоские механизмы не являются двумя разнотипными семействами, но что между ними существует подобие: и те и другие являются лишь частными случаями механизмов с учетом каких-то ограничений в отдельных конкретных случаях. Эта идея была развита затем В. В. Добровольским.

Он предложил разделить все механизмы на пять родов по числу общих связей, наложенных на движение звеньев механизмов, и вывел единую структурную формулу:

$$W = mn - \sum_{k=1}^{k=m-1} (m-k)\,Pk,$$

где n — число подвижных звеньев механизма, m — число степеней свободы, k — род пары. Деление механизмов на роды, или, по терминологии, введенной И. И. Артоболевским, на семейства, дало возможность обобщить уже достигнутые результаты: оказалось, что механизмы одного и того же рода (семейства) исследуются идентичными методами.

В 1939 г. Артоболевский и Добровольский сделали логическое развитие предложенной ими структурной теории. Внутри каждого семейства оказалось возможным выделить роды (или, по Добровольскому, виды) в зависимости от характера тех общих связей, которые налагаются на движение звеньев механизма. Таким образом сферические механизмы оказались в одном семействе с плоскими, что и явилось косвенным доказательством логической справедливости классификации. Добровольский предложил также новый метод образования групп — метод разложения шарнира, дополняющий метод развития поводка Ассура, но, как и последний, не имеющий общности.

В том же 1939 г. Артоболевский сделал попытку обобщить классификацию механизмов и увязать ее с разработанными ранее методами структурного анализа. В основу предложенной им классификации был положен метод развития контура. Каждый механизм рассматривается при этом как кинематическая цепь, состоящая из одного или нескольких замкнутых контуров и нескольких незамкнутых цепей, служащих для присоединения звеньев контура к основным звеньям механизма. Замкнутые контуры могут быть жесткими или подвижными; для нулевого семейства подвижный контур должен содержать не менее семи пар пятого класса, для прочих семейств количество пар пятого класса соответственно уменьшается.

«Таким образом была установлена классификация замкнутых контуров по числу кинематических пар, в которые входят звенья, образующие контур... Класс контура определяет количество его степеней свободы. Следовательно, для того, чтобы образовать из контура — «ядра» — группу, необходимо лишить этот контур числа степеней свободы, равного классу контура. Это можно сделать путем присоединения к контуру поводков, или ветвей. Исследование структуры цепей, присоединяемых к звеньям контура, показало, что в различных семействах подвижность этих цепей может быть различна. Так, в семействе с $m=0$ [m — количество связей] степень подвижности w_0 ветвей может меняться в пределах от $w_0=1$ до $w_0=-5$. Для механизмов с числом $m=1$ степень подвижности w_0 может меняться в пределах от $w_0=-1$ до $w_0=-4$ и т. д.

Рассмотрение структуры самих контуров и присоединяемых ветвей показывает, что если за основу взять структуру групп семейства с числом $m=0$, то структура контуров и ветвей всех остальных семейств может быть легко получена путем последовательного уменьшения числа звеньев и кинематических пар, образующих группы, т. е. структура последующих семейств представляет собой частные случаи структуры групп семейств с числом $m=0$.

Предложенный принцип образования групп позволил расширить наше представление о свойствах групп различных семейств и дал возможность утверждать, что в основе всех приемов ана-

лизов групп лежат единые общие методы, развитие которых может значительно продвинуть вопросы их структурного анализа»[1].

Созданная И. И. Артоболевским оригинальная классификация механизмов, логически завершенная и увязанная со структурным анализом механизмов, явилась этапом в истории механики машин: появилась возможность рассматривать пространственные механизмы в соответствии с тем местом, которое они занимали в единой классификационной системе. В связи с этим облегчилась и задача построения методов кинематического и кинетостатического анализа для механизмов различных семейств.

Годы 1937 и 1938 были очень насыщены организационной работой: шла организация Института машиноведения Академии наук СССР. Вместе с его будущим директором Е. А. Чудаковым Артоболевский разрабатывал профиль института, штатное расписание, необходимое оборудование, вопросы строительства, структуру самого института и его подразделений и т. д. Все эти вопросы обсуждались с участием крупнейших ученых Москвы и Ленинграда. Были проведены также совещания представителей машиностроительной промышленности, конструкторов и ведущих инженеров крупнейших машиностроительных конструкторских бюро, научно-исследовательских институтов и заводов. В результате длительных дискуссий было решено, что в институте должны получить развитие четыре основных направления: теория машин и механизмов, прочность деталей машин, трение и износ в машинах, теория технологических процессов. Эти направления должны были быть обеспечены лабораториями, структурно подчиненными соответствующим отделам.

Основная проблематика научных исследований, которые намечено было развивать в отделе теории машин и механизмов, по предварительному предположению, должна была сводиться к трем основным темам: структура и классификация механизмов, синтез механизмов, динамика механизмов.

Институт был официально открыт в 1938 г., но работы по его проблематике начались уже с 1937 г., когда были приглашены первые сотрудники. И. И. Артоболевский был утвержден руководителем отдела теории машин и механизмов, и ему было предложено организовать лаборатории отдела и укомплектовать их квалифицированными кадрами. Научный семинар по теории механизмов и машин продолжал свою работу уже при отделе. В частности, на семинаре были доложены и результаты исследований по теории структуры и классификации механизмов. Выполнены, были и другие работы. Так, Н. Г. Бруевич впервые ввел в теорию механизмов векторные методы и получил ряд важных результатов в кинематическом и кинетостатическом анализе механизмов. Г. Г. Баранов провел исследования по теории пространственных

---

[1] *И. И. Артоболевский.* Успехи советской теории механизмов и машин. — В кн.: Труды семинара ТММ, т. IV, вып. 16. 1948, стр. 13—14.

механизмов, А. П. Малышев — по структурному синтезу механизмов.

Проблема структуры и классификации механизмов в те годы была спорной. Дело в том, что необходимость в быстрой подготовке кадров заставила обратить особенное внимание на технические науки, которые «потеснили» в учебных программах математику, физику, теоретическую и прикладную механику, что, в свою очередь, заставляло из этих курсов исключать «все лишнее», не имевшее непосредственного отношения к практике. Возникли учебники под названием «Математика для инженеров», «Физика для инженеров» (и печальной памяти обвинение во вредительстве академика Н. Н. Лузина за то, что он «испортил прекрасный учебник Гренвилля» своими дополнениями). Естественно, эта тенденция не могла не отразиться и на отношении к новым разделам, вводимым в курс теории механизмов и машин, и, как казалось, не имевшим никаких выходов в практику — даже некоторые теоретики высказывались за «ненужность» и «ненаучность» учения о структуре механизмов. Вопрос о дальнейших путях теории механизмов широко обсуждался в прессе и едва не вылился в дискуссию.

Попытка отрицать важность исследований ученых-теоретиков была, конечно, в корне неверной, и последующее развитие теории механизмов и машин показало огромное влияние их трудов именно на разработку прикладных проблем. Без создания научно обоснованной классификации нельзя было привести в определенную систему все это беспредельно растущее многообразие механизмов и развить общие методы их анализа и синтеза.

В 1939 г. вышла из печати монография Артоболевского «Структура, кинематика и кинетостатика многозвенных плоских механизмов», явившаяся важной вехой на пути создания советской школы теории механизмов и машин. Впервые был «наведен порядок» в обширной области многозвенных плоских механизмов и разработаны графоаналитические методы, давшие возможность без труда решать практически все задачи по кинематике и кинетостатике плоских механизмов.

В своем исследовании Артоболевский пользуется классификацией Ассура; дополнительно он рассматривает плоские механизмы с одними поступательными парами, а также механизмы, в состав которых входят не только высшие, но и низшие пары.

Кинематика и кинетостатика механизмов I, II и III классов изложена весьма полно, а главное, в логической последовательности; ни в отечественной, ни в зарубежной литературе до этого времени подобной работы не было. Дело в том, что отсутствие связи между отдельными группами механизмов заставляло авторов, причем и таких крупных, как Р. Бейер и Виттенбауэр, излагать методы кинематического и кинетостатического анализа применительно к отдельным конкретным примерам, а это всегда негативно влияло на логическую связь между отдельными разде-

лами. У Артоболевского теория механизмов и машин впервые получила логически научную структуру и стала действительно надежным инструментом исследования.

Но не только в этом заключалось значение его монографии. Артоболевский по-новому «прочитал» Ассура, классическая работа которого написана весьма трудно и графические построения не просты. Автор нашел новые способы исследования, в значительной степени дополнил Ассура, разработал методы определения ускорений точек механизмов, свел воедино методы кинетостатики и снабдил все теоретические рассуждения наглядными примерами.

В том же направлении работал В. В. Добровольский. В 1937 г. он решил одну из самых трудных задач кинематики плоских механизмов — задачу о построении положений механизмов и траекторий, описываемых отдельными их точками. Задача была решена методом геометрических мест; затем он развил этот метод на механизмы всех классов и порядков, а в 1939 г. развил метод особых точек на основе предложенного им же метода разложения внутреннего шарнира группы; с помощью этого метода он разработал теорию кинематического анализа сложных кинематических цепей с замкнутыми контурами, которые можно получить методом разложения шарнира.

В том же году Добровольский начал исследование новой теоретически еще не изученной области механизмов с несколькими степенями свободы. Это было заделом на будущее: современная техника применяла механизмы с двумя и большим числом степеней свободы буквально в считанных случаях, однако уже можно было ожидать дальнейшего развития механизмов этого вида. Статья Добровольского была одной из первых попыток создания новой теории: она содержала структурный анализ механизмов с несколькими степенями свободы. По виду ведущих звеньев, к которым приводится механизм после удаления всех групп наслоения, автор различает механизмы кривошипные, которые приводятся к нескольким независимым кривошипам, маятниковые и кривошипно-маятниковые. В частности, механизмы типа дифференциалов он относит к кривошипной группе, а пентографы, инверсоры и подобные им механизмы — к маятниковым механизмам. Добровольский считает, что кинематический анализ проводится теми же методами, что и анализ механизмов с одной степенью свободы, и не заключает в себе ничего принципиально нового.

Продолжались и исследования в области теории пространственных механизмов. Разработка обобщающей классификации и структурные построения в трудах Артоболевского и Добровольского показали, что к исследованиям механизмов любой сложности можно подойти, исходя из некоторых общих предположений.

В этом направлении были выполнены и работы Баранова, Бруевича и Добровольского. Г. Г. Баранов разработал вопрос о по-

строении планов положений пространственного семизвенного механизма. Работы Н. Г. Бруевича явились развитием его исследований в области теории плоских механизмов: пользуясь методом векторных уравнений, он изучил кинематику и кинетостатику пространственных механизмов, образованных путем наслоения пространственных диад, звенья которых входят в кинематические пары различных классов. В. В. Добровольский изучал сферические механизмы, для чего использовал стереографическую проекцию.

Некоторые задачи пространственной кинематики решили Я. Б. Шор и Ф. М. Диментберг.

С 1939 г. Артоболевский приступил к организации в отделе группы по синтезу механизмов. Необходимость в создании исследовательского направления в области синтеза была очевидной: советское машиностроение вступило в новую фазу своего развития, надо было улучшать существующие марки машин и создавать новые, а для этого инженеров-конструкторов следовало вооружить научно обоснованными методами проектирования механизмов. В качестве ведущего специалиста группы он пригласил З. Ш. Блоха, которого знал по его работе в Институте сельскохозяйственного машиностроения. По совету Артоболевского Блох занялся разработкой вопроса применения метода теории функций комплексного переменного к решению плоской задачи теории механизмов. Метод этот впервые был предложен Дарбу еще в конце XIX в., но тогда он не привлек к себе внимания. В 1918—1920 гг. и позже этот метод начали разрабатывать Н. В. Оглоблин, С. А. Гершгорин, А. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. Затем опять примерно такой же перерыв — и за решение задачи берется Блох. Он обладал хорошей математической подготовкой и при исследовании проблемы синтеза механизмов использовал аппарат теории функций комплексного переменного и получил значимые научные результаты.

Разработка методов синтеза механизмов, предпринятая советскими учеными в конце 30-х годов, велась в двух направлениях: разрабатывались точные методы, позволяющие кинематически точно воспроизвести заданные формы движения, и методы приближенного синтеза, с помощью которых можно было воспроизвести заданную форму движения приближенно, но с достаточной для практики точностью. Исторически первыми возникли методы приближенного синтеза механизмов: прообразом их был параллелограмм Уатта, в работах Чебышева, выполненных в начале второй половины XIX в., было сделано теоретическое обоснование этого направления. Применяется это направление главным образом при проектировании механизмов с низшими кинематическими парами.

Для работ советской школы теории механизмов исходным стало первое направление, которое имело дело с механизмами,

в состав которых входят звенья, соединенные как высшими, так и низшими кинематическими парами. Сюда относятся центроидные, зубчатые, кулачковые и некоторые другие механизмы.

В 1939 г. И. И. Артоболевский опубликовал монографию «Геометрический синтез плоских механизмов», в которой рассмотрел общую задачу синтеза плоских механизмов с парами IV и V классов. Для решения этих задач им был развит метод центроид и метод взаимно огибаемых кривых. Он показал, что заданные движения звеньев могут быть воспроизведены совокупностью центроид в абсолютных и относительных движениях. Предложенные методы позволяют проектировать так называемые центроидные механизмы — механизмы круглых и некруглых колес, перекатывающихся рычагов и др. Однако число центроидных механизмов ограниченно и возможности их использования невелики. Но если с одной из центроид связать кривую, то можно найти другую кривую, связанную со второй из центроид таким образом, что при взаимном движении центроид обе кривые будут катиться друг по другу со скольжением. Эта теория взаимоогибаемых кривых, являющаяся теоретическим обоснованием синтеза кулачковых и зубчатых механизмов, также была развита И. И. Артоболевским.

Кроме того, он показал возможный переход от точного воспроизведения движения к приближенному путем замены центроид или взаимоогибаемых кривых кинематическими цепями, состоящими из низших кинематических пар; эта задача приводит к классической задаче метрического синтеза механизмов с низшими парами, заключающейся в проектировании механизмов с низшими парами, отдельные точки звеньев которых описывают заданные шатунные кривые.

Эта теория, над которой И. И. Артоболевский работал в течение ряда лет, неоднократно включалась им в курс теории механизмов, который он читал в Московском университете, и была изложена в «Теории механизмов и машин» (1940), единственном в нашей литературе университетском курсе. Главные положения этой теории вошли впоследствии в основной фонд науки о машинах.

В 1939 г. И. И. Артоболевский, Н. Г. Бруевич и А. П. Малышев были выдвинуты в члены-корреспонденты Академии наук СССР. Кандидатуру И. И. Артоболевского выдвинули С. А. Чаплыгин и Н. И. Мерцалов, а поддержал Г. М. Кржижановский. Выдвижение И. И. Артоболевского было также поддержано рядом высших учебных заведений, в частности кафедрой теории механизмов и машин Горьковского индустриального института, в докладе которой отмечалось, что бо́льшая часть исследований профессора Артоболевского посвящена актуальным проблемам советского машиностроения и что за сравнительно короткий срок им написано 56 научных работ, имеющих не только теоретический интерес, но и большое практическое значение.

Избрание И. И. Артоболевского и Н. Г. Бруевича членами-корреспондентами Академии наук СССР явилось большим событием в деле становления научной школы по теории механизмов: она получила официальное признание как важное направление советской науки.

Частные задачи синтеза механизмов применительно к зубчатым передачам, к кулачковым и мальтийским механизмам приобрели во второй половине 30-х годов особенное значение, причем не только у нас в стране. Обусловливалось это как все убыстряющимся развитием машин автоматического действия, так и нуждами общего машиностроения, вызванными повышением рабочих скоростей машин и увеличением их габаритов.

Развитие машиностроения в 30-х годах в основном определялось двумя важными факторами: развитием тенденции автоматизации производства и развитием оборонной техники в связи с усилившейся после прихода Гитлера к власти и последующей фашизации Германии угрозой войны. Быстродействующей вычислительной техники тогда не было, и поэтому большое значение получили поиски шарнирных и иных механизмов, способных решать сложные математические задачи. Некоторые ученые занимаются исследованиями и совершенствованием различных типов зубчатых зацеплений. Развитие авто-, тракторо- и авиастроения определяет серию исследований по корригированию зубчатых колес. Повышается интерес к дифференциальным и планетарным механизмам: в 1939 г. выходит в свет монография С. Н. Кожевникова «Эпициклические передачи». В. В. Добровольский рассмотрел вопросы подбора шестерен редукторов авиационных моторов, вопросы теории подрезания зубцов зубчатых колес и некоторые другие, связанные с проектированием зубчатых передач.

Начинает уделяться все большее внимание кулачковым механизмам. В работах, опубликованных в 1939 и 1940 гг., Артоболевский рассмотрел методы проектирования кулачковых механизмов, у которых ведомое звено воспроизводит сложное плоско-параллельное движение. Он рассмотрел также задачу проектирования кулачковых механизмов по заданному углу передачи. В ряде зарубежных работ углы передачи связывались с разысканием наименьших габаритов кулачка. Артоболевский же дает решение, основанное на изучении областей, в которых должна располагаться линия зацепления. Это дало возможность сделать некоторые обобщения в задаче о связи угла передачи с метрическими параметрами механизма. Он показал, что для центроидных механизмов с изменяющимся положением осей вращения угол передачи зависит также и от этого расстояния.

Вопросы динамического синтеза кулачковых механизмов изучали Н. Г. Бруевич, Я. Л. Геронимус, Н. И. Колчин, Х. Ф. Кетов и В. А. Юдин. Бруевич доказал, что при передаче движения центроидными механизмами с неподвижными осями вращения центроид передачу такого типа нельзя использовать для непре-

рывного периодического движения, поскольку в таких механизмах предельный передаточный угол в некоторых положениях оказывается ниже допустимого. Он показал также, что в этих механизмах угол давления не зависит от расстояния между осями вращения центроид. Геронимус решил задачу проектирования кулачкового механизма с плоским толкателем, Юдин развил методы динамического синтеза пространственных кулачков механизмов.

Решение задачи о динамическом проектировании кулачкового механизма явилось первым приближением к исследованию механизмов в реальных условиях. Оказалось, что для физических объектов, каковыми являются механизмы, не может быть полного абстрагирования, а следовательно, не может быть и чисто кинематического исследования. Как сказалось позже, кинематическое и динамическое исследования так тесно переплетаются друг с другом, что при более или менее точном решении задачи нужно делать совместное решение, привлекая к нему и данные структуры, и кинематику, и динамику.

В конце 30-х годов внимание исследователей снова обращается к механизмам для воспроизведения определенных математических зависимостей. Задача эта ведет свою историю опять-таки от параллелограмма Уатта и от механизмов Чебышева, Липкина, Поселье. В последней четверти XIX в., по совету Чебышева, вопросами прикладной кинематики начинает заниматься Сильвестр, и в результате его исследований и исследований ряда английских ученых, выполненных по его совету, появляется целый ряд механизмов — Кемпе, Гарта, Робертса и других ученых. Несколько особняком стоят механизмы львовского геометра и механика Лаврентия Жмурко, хотя можно предполагать, что и он обратился к прикладной кинематике не без влияния Чебышева.

Интерес к такого рода механизмам постоянно растет: в определенной степени они были шагом на пути к механизации математических вычислений. В конце XIX и начале XX в. была создана целая серия механизмов, воспроизводящих кривые второго порядка.

В Советском Союзе работа над механизмами, воспроизводящими определенные математические зависимости, начинается едва ли не с первых лет становления советской науки. В 1926 г. С. А. Гершгорин сконструировал механизм эллипсографа. В 1939 г. В. П. Каминский создал несколько оригинальных схем коникографов — механизмов для воспроизведения конических сечений, уравнения которых заданы в полярной форме. В 1940 г. И. И. Артоболевский построил коникограф, применив для решения этой задачи метрико-синтетический метод.

В 1926 г. Гершгорин доказал теорему о возможности построения шарнирного механизма, осуществляющего алгебраические зависимости. Используя ее, он сконструировал механизмы для интегрирования уравнения Лапласа, для построения некоторых

функций комплексного переменного и построения профилей крыла аэроплана типа Мизеса (1929). Затем И. М. Рабинович предложил механизмы для решения системы линейных уравнений (1934).

Н. Г. Бруевич указал систематический путь решения задач, связанных с механическим определением различных алгебраических зависимостей. Он создал механизмы для решения алгебраических уравнений (1938) и для интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. С. А. Черкудинов предложил механизмы для вычерчивания геометрических мест метрического синтеза (1939). Эти и подобные исследования продолжались и в последующие годы.

В области динамики машин исследовательская работа советских ученых в предвоенные годы проводилась в нескольких направлениях. Были работы по определению КПД машин и уравновешиванию динамических давлений. В 1939 г. С. Н. Кожевников начал исследования в области теории неустановившихся процессов. В упомянутой уже статье о теории механизмов с несколькими степенями свободы В. В. Добровольский начал исследование динамики механизмов с двумя степенями свободы. Однако следует отметить, что эти и некоторые другие работы еще не составляли комплексного динамического исследования машин. Скорее, это можно было назвать пробой различных подходов к решению задач динамики машин, и каждый исследователь в своей работе шел своим собственным путем — и не всегда удачно.

Переход к машинам автоматического действия повлек за собой ряд проблем теоретического и практического плана. Автоматизация производственных процессов начала внедряться на наших предприятиях еще с начала 30-х годов, особенно там, где была конвейерная сборка или же технологический процесс характеризовался непрерывностью. С 1933 г. было начато производство одношпиндельных автоматов и полуавтоматов, а с 1934 г. — многошпиндельных автоматов. В это же время делаются попытки создания агрегатных станков. Под руководством А. К. Гастева создаются стандартные блоки, из которых собираются станки различных типов. В 1934 г. под руководством В. И. Дикушина были созданы первые отечественные агрегатные станки; при их создании использовались нормализованные агрегаты.

Разработка и постройка автоматов позволила перейти к дальнейшим мероприятиям на пути автоматизации производства. В 1935 г. была начата разработка технического проекта автоматической линии для обработки блока цилиндра. В 1939 г. изобретатель И. П. Иночкин построил первую автоматическую линию из агрегатных станков. Попытки внедрения машин автоматического действия предпринимались и в других отраслях производства.

В 1931 г. в Ленинградском политехническом институте была организована первая в Советском Союзе кафедра машин-автоматов под руководством С. В. Вяхирева. В следующем, 1932 г.,

кафедра станков-автоматов организуется под руководством Г. А. Шаумяна в МВТУ.

Первые исследования в этом направлении относятся также к 30-м годам. Одним из первых исследователей, изучавших теорию машин-автоматов, был Г. А. Шаумян, который в 1932—1933 гг. разработал закон производительности машин. В 1937 г. А. П. Иванов разработал методику синтеза станков-автоматов: он поставил задачу синтеза механизмов автоматов в зависимости от точности их действия. Позже он занимался вопросами экспериментального исследования точности их действия (1939). С. В. Вяхирев дал исследование содержания задачи проектирования машин-автоматов. Исходя из требований к технологическому процессу, он ставит соответствующую задачу синтеза механизмов и рассматривает пути ее решения методами теории механизмов. В 1939 г. он опубликовал монографию «Автоматы и полуавтоматы». И. А. Клапаух дал пример создания схемы автомата повышенной производительности по заданному технологическому процессу (1937, 1938). В 1939 г. начал цикл исследований в области теории машин-автоматов С. И. Артоболевский.

Введение новых программ, в определенной степени стандартизировавших преподавание в высшей технической школе, и новая исследовательская тематика в области теории механизмов и машин нашли свое отражение в соответствующих документах. В середине 1938 г. Всесоюзный комитет по делам высшей школы при СНК СССР разработал программу по курсу «Теория механизмов и машин» с учетом новых исследований. В связи с этим старые учебники оказались непригодны, и к концу 1939 г. в соответствии с новой программой был издан учебник для машиностроительных вузов, написанный профессорами Ленинградского индустриального института Х. Ф. Кетовым и Н. И. Колчиным. В основу книги авторы положили «Прикладную механику» Д. С. Зернова, Х. Ф. Кетова, С. В. Вяхирева и Н. И. Колчина, в свою очередь бывшую развитием известного учебника Д. С. Зернова.

Учебник начинается разделом, посвященным исследованию структуры и классификации механизмов по Ассуру. Следующий раздел — синтез плоских механизмов — написан по Рело, с небольшими дополнениями. Кинематический анализ механизмов проводится с использованием классификации плоских механизмов, однако анализа групп наслоения авторы не дают и дальнейшее исследование проводят на основе классических примеров. Недостаточно разработана глава, посвященная кинетостатике. В некоторых разделах приводятся исследования самих авторов; в частности вводится понятие коэффициента потерь как отношения величины потерянной работы к полному количеству затраченной работы.

В 1940 г. был опубликован уже упоминавшийся выше большой курс И. И. Артоболевского «Теория механизмов и машин». Он состоял из двух частей. Первая часть — «Структура и кине-

матика механизмов» — содержала два отдела, из которых один был посвящен структуре и кинематическому анализу механизмов, а второй — синтезу. Этот раздел, написанный в основном на базе работ самого автора, в значительной степени являлся монографическим исследованием. В сущности все исследования в области синтеза механизмов, которые в дальнейшем выполняла советская школа теории механизмов и машин, исходили из этой работы Артоболевского. Вторая часть книги «Динамика механизмов» содержала разделы, посвященные кинетостатике механизмов и собственно динамике.

Таким образом, к началу 40-х годов советская высшая школа получила не только новые программы, но и новые учебники. Свои учебные пособия и методические разработки по теории механизмов (главным образом в стеклографическом исполнении) выпустили и отдельные вузы страны.

В 30-х годах И. И. Артоболевский начал заниматься также историей науки и техники. Интересы эти были обусловлены, в частности, его знакомством с историческими исследованиями В. О. Ключевского. Изучение затем классиков отечественного и зарубежного машиностроения и механики способствовало их укреплению. Уже первые свои статьи и монографии, посвященные теории пространственных и плоских механизмов, Артоболевский снабжает многочисленными историческими и историко-библиографическими справками. Отдельным разделам книг он предпосылает историко-библиографические введения, которые вводят читателя в курс дела и ориентируют в литературе. Первые его статьи, специально посвященные вопросам истории механики машин в Советском Союзе, датируются 1939 г.

Создание новых направлений в механике машин и развитие старых было невозможно без глубокой и вдумчивой работы по терминологии. Ряд терминов пришлось создать заново, некоторые, если не все, подлежали уточнению. Для одного и того же понятия часто пользовались несколькими различными терминами. Эту важную работу по пересмотру и унификации терминологии И. И. Артоболевский выполнил в 1938—1939 гг.

*

Начавшаяся Великая Отечественная война вынудила уже в первые месяцы эвакуировать заводы, фабрики, научные учреждения и учебные институты в восточные районы страны. Враг подступал к Москве — предприятия и институты столицы также начали готовиться к эвакуации. Часть лабораторий института машиноведения перебазировалась в Казань.

И. И. Артоболевский в июле 1941 г. вступил в народное ополчение, но через две недели был отозван и назначен уполномоченным Отделения технических наук АН СССР, чтобы наладить ра-

И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ
(1942 г.)

боту оставшихся в Москве лабораторий, нацелив их тематику на военные нужды.

Продолжал он также работу в Институте химического машиностроения и в университете. МИХМ был переведен на военное положение, Артоболевский назначен начальником отряда по борьбе с зажигательными бомбами и через сутки дежурил по ночам на крыше института. Читать лекции приходилось в холодных нетопленых аудиториях. Слушателей было мало — большинство ушло на фронт, оставшиеся в Москве работали на строительстве оборонительных сооружений, на занятия они приходили во второй половине дня. Когда в здание университета попала бомба, взрывной волной был разрушен кабинет механизмов. Особенно пострадали деревянные модели, принадлежавшие еще Н. Е. Жуковскому, большинство из них так и не удалось восстановить.

В начале 1942 г. возвратилась из Казани лаборатория динамики машин. Вместе с Н. П. Раевским Иван Иванович организовал разработку проблем военного значения: экспериментальное изучение различных типов механизмов автоматического оружия, его прицельности, пробивной способности для разных типов

брони, изучение динамики тяжелого артиллерийского оборудования крейсеров, эсминцев и других военных кораблей, изучение их колебаний и влияния колебаний на прицельность. Тогда же он обратился к первому секретарю МГК КПСС А. С. Щербакову с предложением организовать Московское общество машиностроителей. Созданное в начале 1942 г. Общество занялось вопросами восстановления заводов, оборудование которых было вывезено из Москвы на восток, разработкой новых типов вооружения, созданием передвижных ремонтных баз для фронта, смонтированных в железнодорожных вагонах (за строительство ремонтных баз Артоболевский и его сотрудники получили личную благодарность Верховного Главнокомандующего). Работали также над созданием специализированных машин-автоматов для изготовления деталей прецизионного вооружения.

В январе 1942 г. по решению правительства И. И. Артоболевский был переведен в Московский авиационный институт имени Орджоникидзе заведующим кафедрой теории механизмов и машин. Перед авиационным институтом стояла задача ускоренной подготовки квалифицированных кадров. Артоболевский создал на кафедре в МАИ сильный педагогический коллектив: Б. В. Эдельштейн, Н. И. Левитский, Т. С. Жегалова, В. А. Зиновьев, М. И. Тишин. Сам Иван Иванович руководил работами по созданию новой авиационной техники и вопросами приборостроения. Одной из важнейших исследовательских тем в этом направлении была разработка системы вооружения самолета. За решение этой проблемы Артоболевский был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Как заместитель академика-секретаря Отделения технических наук АН СССР Артоболевский участвовал в организации семинаров и конференций, посвященных вопросам развития военной техники. В начале 1942 г. в Москве возобновил свою работу семинар по теории механизмов и машин, на котором докладывались многие важные для военного времени исследования по теории шарнирных механизмов и синтезу механизмов. В сущности именно в военные годы были выполнены основополагающие работы в этом направлении. Так, в 1944 г. была издана монография «Синтез механизмов» (три раздела которой были написаны И. И. Артоболевским, В. В. Добровольским и З. Ш. Блохом), где были подытожены исследования советских, немецких и английских ученых. Монография не только знакомила с проблемой синтеза механизмов, но и послужила основой для дальнейшей исследовательской работы в этом направлении.

К началу 40-х годов наметились три основных направления синтеза механизмов — структурный, метрический и экспериментальный. В основе структурного синтеза лежали работы П. Л. Чебышева, П. О. Сомова, М. Грюблера, Л. В. Ассура, А. П. Малышева. Сущность его заключается в построении правильной схемы механизма как совокупности различных кинематических пар, без

учета размеров звеньев (впрочем, последнее ограничение иногда снимается). В 30—40-х годах в этом направлении работали главным образом немецкие ученые; из советских им занимались Малышев и Артоболевский.

Экспериментальный синтез механизмов ведет свое начало от экспериментов Рело; в 20-х годах его развивал Рау, его ученики и последователи. В СССР это направление не получило развития: его практическая применимость оказалась ограниченной, и к тому же любое экспериментальное решение предполагало схему механизма заранее заданной и сводилось к поискам шатунной кривой, подходящей для данного конкретного случая.

Основное внимание исследователей было обращено на развитие метрического синтеза механизмов, который представлен геометрическими и аналитическими методами, точными и приближенными. Ведет он свое начало от исследований П. Л. Чебышева, выполненных им еще в середине XIX в. В конце века Бурместер работал над созданием геометрического синтеза механизмов; его работы были продолжены и развиты немецкими учеными главным образом в конце 20-х — начале 30-х годов.

Метод синтеза механизмов, над созданием которого работал И. И. Артоболевский в предвоенные и военные годы, является метрическим, точным и относится к геометрическому направлению. Рабочим аппаратом при этом служат методы начертательной и проективной геометрии. Артоболевским впервые была поставлена и решена задача синтеза механизмов с высшими парами, важное значение имело введенное им геометрическое место (так называемая бицентроида) мгновенных центров вращения в относительном движении двух звеньев, принадлежащее неподвижной плоскости. Метод явился теоретическим обоснованием и обобщением синтеза трехзвенных механизмов с высшей парой, в частности зубчатых и кулачковых. Артоболевский показал, что подобные механизмы, несмотря на внешнее различие, аналогичны по своей сущности, а следовательно, к их исследованию можно применить аналогичные методы.

Вторая часть монографии «Синтез механизмов», написанная В. В. Добровольским, была посвящена метрическому приближенному синтезу, теоретической базой которого служила кинематическая геометрия. Добровольский изложил результаты в этом направлении немецкой школы и свои собственные. В частности, решил несколько задач синтеза механизмов с низшими парами, связанных с их проворачиваемостью, заданным углом передачи и передаточным отношением. Вывел условия нестеснимости механизмов при присоединении двухповодковых групп и рассмотрел задачу синтеза шестизвенных механизмов по заданным предельным положениям ведомого звена.

Третья часть монографии, написанная З. Ш. Блохом, имела своей темой аналитический и графоаналитический метод метрического синтеза механизмов, основанный на применении аппа-

рата теории функций комплексного переменного. Этот метод, предложенный в конце XIX в. Дарбу, в 20-х годах был развит советскими учеными: в этом направлении вели исследования Н. В. Оглоблин, Л. Г. Лойцянский, С. А. Гершгорин, А. И. Лурье. С. С. Бюшгенс в монографии «Метод комплексного переменного в кинематике плоских механизмов» (1939) обобщил полученные результаты. Некоторые задачи в этом направлении решил З. Ш. Блох, в частности поставил задачу синтеза многозвенных механизмов графоаналитическим методом.

Советские ученые вели работы и в других направлениях. Так, С. А. Черкудинов исследовал развитие метода геометрических мест по Бурместеру и перешел от построения отдельных геометрических мест частными способами к созданию общего метода их построения. Это дало возможность решать задачи синтеза механизмов по перемещениям шатунной плоскости с одновременным заданием в качестве дополнительных условий соответствующих углов поворота ведущего кривошипа.

С 1944 г. по инициативе С. И. Вавилова были начаты важные исследования в области военного приборостроения, в которых принял участие Артоболевский. Так возникло и получило развитие направление по созданию механизмов для точного воспроизведения определенных математических зависимостей.

Еще одним направлением синтеза механизмов, нашедшим особенное развитие в военные годы, была теория зубчатых зацеплений и зубчатых механизмов. Направление это имело в советской науке свою предысторию. Освоение в 30-х годах советскими машиностроителями новых типов машин — автомобилей, тракторов, самолетов, горно-металлургических, строительных и различных технологических — потребовало создания более совершенных зубчатых механизмов, а следовательно, и соответствующей теории. Были начаты исследования и получены определенные результаты. В области теории зубчатых зацеплений работали Н. И. Колчин и Х. Ф. Кетов, Е. А. Чудаков. Появляются работы по исследованию зубчатых передач, корригированию зубчатых зацеплений, по теории редукторов.

Исследования были продолжены и развиты в военные годы. Можно сказать, что в это время были заложены основы едва ли не всех направлений теории зубчатых механизмов. Среди работ, опубликованных или выполненных в военные годы, особое место занимают труды ленинградских и московских ученых, которые несколько различались по тематике и методике исследования.

Ленинградской группой ученых (Н. И. Колчин, Х. Ф. Кетов, Ф. Л. Литвин) была достаточно полно разработана теория эвольвентного зацепления в аналитической форме с охватом также вопросов теории некруглых зубчатых колес, червячного зацепления планетарных механизмов. Особенностью ленинградских исследований была глубокая связь с практическими задачами машиностроения, в частности, ряд работ был посвящен технологии производ-

ства зубчатых колес, расчетам на прочность, исследованиям износа колес.

Работы москвичей (В. А. Гавриленко, М. А. Крейнеса, М. С. Розовского, Н. А. Калашникова) касались исследования некоторых частных случаев зацеплений, создания практической теории корригирования эвольвентных зубчатых колес, теории сложных зубчатых механизмов.

В связи с работами по созданию автоматов и автоматических линий важное значение получила теория кулачковых механизмов. Как уже говорилось, в 30-х годах в этом направлении начали работать Н. Г. Бруевич, Л. Н. Решетов, Я. Л. Геронимус, В. В. Добровольский. В военные годы советскими учеными в этой области был сделан большой шаг вперед. И. И. Артоболевский исследовал функциональное подобие между кулачковыми и кривошипно-ползунными механизмами. М. М. Тишин и Я. Л. Геронимус решили некоторые задачи синтеза кулачковых механизмов. В большой работе, посвященной кинематике машин-автоматов, С. И. Артоболевский исследовал важные вопросы теории плоских и пространственных механизмов. Эта работа С. И. Артоболевского сыграла важную роль в развитии теории машин автоматического действия. В самом конце 30-х годов только еще начинались попытки теоретического осмысливания этого класса машин. В этом направлении работали С. В. Вяхирев, И. Л. Клапаух, Г. А. Шаумян. Нужды фронта потребовали быстрого создания автоматов, в первую очередь в самой машиностроительной промышленности, а также в других отраслях производства. Одновременно с конструкторскими изысканиями началась работа по изучению отдельных типов машин-автоматов иностранного производства и по созданию теории автоматов. И. И. Артоболевский, в соавторстве с С. И. Артоболевским, В. А. Юдиным и Г. А. Шаумяном, выпустил монографию «Методы анализа машин-автоматов», в которой исследовал структуру, кинематику и кинетостатику автоматов. Г. А. Шаумян занимался исследованиями главным образом металлорежущих автоматов.

В области теории пространственных механизмов работал В. В. Добровольский. Им были предложены методы синтеза сферических механизмов, разработанные по аналогии с методом Бурместера для плоских механизмов. Для изображения сферы на плоскости Добровольский использовал стереографическую проекцию. Общий метод он применил затем для решения задач построения сферического четырехзвенника по двум, трем, четырем и пяти парам положений двух вращающихся звеньев и для построения направляющих сферических механизмов с приближенно-круговыми траекториями.

В военные годы внимание исследователей привлекли задачи динамики. В машиностроение пришли они «со стороны» — из математики и аналитической механики. Узкопрактические цели военного времени заставили обратить особенное внимание на проб-

лему колебаний, в частности нелинейных, связанных с эксплуатацией самолетов, военно-транспортной техники, артиллерийских систем. Важное значение получили проблемы устойчивости движения и динамики тела переменной массы: советское ракетостроение ведет свое происхождение от знаменитых «катюш», однако теоретические исследования в этом направлении велись и раньше.

Одной из первых задач динамики, решенных в военные годы, была задача о маховике. Ее, конечно, едва ли можно назвать новой — это была одна из первых задач динамики машин, привлекших внимание исследователей. Поставлена она была в 1810 г. Гениво, затем ее решением занимались в разные годы Кориолис, Понселе, Морен, Радингер, Виттенбауэр, К. Э. Рерих, Г. Ф. Проскура, В. Л. Кирпичев, Н. И. Мерцалов и другие ученые. В 1939 г. Е. М. Гутьяр поставил задачу строгого расчета массы маховика по методу Мерцалова—Рериха, не осложняя его построением диаграммы Виттенбауэра.

В 1943 г. И. И. Артоболевский разработал способ расчета маховика, в основу которого положил метод касательных усилий и идею Гутьяра об учете влияния возвратно движущихся масс машины при постоянном значении скорости. При этом исключались необходимость в построении ряда промежуточных диаграмм и проведение касательных к диаграммам, а решение получалось точным; иначе говоря, метод объединил простоту метода Радингера с полной принципиальной точностью решения задачи способами Виттенбауэра и Мерцалова—Гутьяра.

В течение ряда военных лет семинар по теории механизмов и машин заслушал около 100 докладов; некоторые из них в 1947 и 1948 гг. были опубликованы в двух первых томах «Трудов» семинара. Семинар объединил практически всех основных исследователей, работавших в области теории механизмов и машин. Коллективное обсуждение докладов помогало авторам выяснить слабые места предлагаемых ими теорий и в то же время информировало научную общественность о новых проблемах. Все это способствовало становлению школы — возник центр, вокруг которого объединились усилия ученых.

Выше были упомянуты некоторые темы исследований, выполненных в военное время и прошедших через «фильтр» семинара. Естественно, что работ было значительно больше и не все они соответствовали интересам дня — многие включали задел на будущее. В этом плане можно указать на цикл работ А. П. Иванова по теории автоматов и по экспериментальным методам исследования задач кинематики и динамики. М. М. Гернет продолжал исследования в области геометрии масс и в области экспериментальных методов исследования. С. Н. Кожевников занимался динамикой металлообрабатывающих станков, в частности начал исследования в области динамики неустановившихся процессов. С. Г. Кислицын начал разработку винтового исчисления в приме-

нении к теории пространственных механизмов. В. А. Зиновьев приступил к развитию векторного метода исследования механизмов. В. Н. Кудрявцев исследовал принципы построения планетарных механизмов.

Для И. И. Артоболевского военные годы были заполнены напряженной работой. Им был написан учебник по теории механизмов и машин для высшей технической школы, изданы (в соавторстве) три важные монографии — по синтезу механизмов, по теории механизмов, созданных Чебышевым, и по теории машин автоматического действия, опубликован ряд статей. Много внимания он уделял организации научной школы по теории механизмов, становление которой произошло именно в военные годы. Несмотря на трудности военного времени, связанные с условиями работы, с проведением экспериментов, нехваткой оборудования, исследователей и вспомогательного персонала, была намечена исследовательская тематика, которая чутко улавливала потребности развития машиностроения и эксплуатации машин.

В Институте машиноведения И. И. Артоболевский и Н. П. Раевский работали над созданием и улучшением экспериментальных методов исследования машин. В 1942—1943 гг. только по вопросам теории автоматов И. И. Артоболевским и его сотрудниками было издано около 50 печатных листов. В том же, 1943 г. И. И. Артоболевский составил первый вариант своего справочника по механизмам: им было учтено 1100 механизмов общего назначения, применявшихся в машиностроении тех лет. Тогда же, вместе с В. А. Зиновьевым и Б. В. Эдельштейном, он составил известный задачник по теории механизмов.

В 1942 г. И. И. Артоболевский был избран первым заместителем академика-секретаря Отделения технических наук АН СССР. Несмотря на напряженную деятельность в Институте машиноведения, в университете и в МАИ, он ведет большую общественную работу, в частности назначается председателем экспертной комиссии ВАК по машиностроительным специальностям, избирается членом ЦК Союза работников высшей школы и научных учреждений и председателем Всесоюзного научно-технического общества машиностроителей.

За свою научную и общественную деятельность в годы Великой Отечественной войны И. И. Артоболевский был награжден двумя орденами Трудового Красного Знамени и медалями «За оборону Москвы» и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне». Тогда же ему было присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники РСФСР.

И кроме того в военные годы была создана научная школа в области теории механизмов и машин и найдены такие организационные формы, которые уже через несколько лет сделали ее не только самой влиятельной, но и самой большой в мире. Вскоре стало ясным, что дальнейшее развитие мировой науки о машинах в значительной степени зависит от результатов, полученных советской школой, и от методов, разработанных ею.

При этом важное значение имело освоение классического наследства русских ученых. Выше мы писали, что русским ученым принадлежали важные результаты в области теории механизмов.

Применение математических методов к решению задач механики машин, вопросы теории структуры, кинематики, кинетостатики, постановка задач синтеза механизмов и теории пространственных механизмов, теория ускорений высших порядков, динамика тела переменной массы, динамика рабочих машин — вот некоторые из вопросов, которые были глубоко изучены русскими учеными, учениками П. Л. Чебышева, Н. Е. Жуковского и В. Н. Лигина, и вошли в золотой фонд идей, унаследованных советскими исследователями.

Можно сказать, что предысторией школы было освоение и разработка идей Ассура. В военные годы было начато изучение и дальнейшее развитие классических работ П. Л. Чебышева, на которых базировались важнейшие направления синтеза механизмов.

В противоположность задаче анализа механизмов задача синтеза многозначна. Ее сущность заключается в установлении некоторого соответствия между множеством механизмов и множеством «законов», которые можно воспроизвести с помощью механизмов.

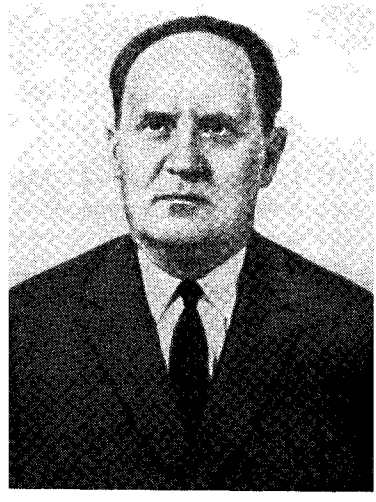
Однако нет возможности установить однозначное соответствие между «законами» и механизмами: каждый «закон» можно воспроизвести при помощи совершенно различных механизмов; с помощью одного и того же механизма, варьируя величину его параметров, можно получить различные «законы».

Один и тот же «закон» можно воспроизвести точно и приближенно — но это теоретически. Зачастую приближенные методы дают более точное решение поставленной задачи, чем точные: дело в том, что точность на чертеже и точность в реальном исполнении механизма не совпадают; например, в шарнирных механизмах ошибка нарастает за счет увеличения числа шарниров, а в механизмах с высшими парами — за счет несовершенства профиля. Впрочем, и тут, и там существенную роль играет длительность работы механизма, сопровождающаяся износом профилей и увеличением зазоров в шарнирах. Поэтому определение схемы механизма для решения какой-либо конкретной задачи зависит от большого числа дополнительных условий, которые, собственно, не имеют никакого отношения к определению его кинематических параметров. И иногда можно перебрать много схем, прежде чем будет найдено оптимальное решение.

К сожалению, операции синтеза механизмов не обладают простотой. В частности, очень сложны операции геометрического синтеза, они требуют точной и тонкой графической работы и сложных геометрических построений. Все время идет поиск методов, требующих наименее трудоемких математических и аналитиче-

ских операций. Не следует также забывать, что вычислительных машин на вооружении машиноведов тогда еще не было.

Поиски «удобных» методов синтеза и привели к изучению классического наследия П. Л. Чебышева. Побочным фактором в этом отношении послужила юбилейная дата — 8 декабря 1944 г. исполнялось 50 лет со дня смерти ученого, которую было решено отметить выпуском в свет специального сборника.



Н. И. ЛЕВИТСКИЙ

Не все в работах П. Л. Чебышева было ясно: многое он делал для себя, не оставив промежуточных вычислений и рассуждений, а его мысли, запечатленные в моделях механизмов, вообще требовали «расшифровки». Эту нелегкую работу выполнили советские машиноведы, в первую очередь И. И. Артоболевский и его ученик Н. И. Левитский.

Метод синтеза механизмов по Чебышеву, как уже указывалось, ведет свое происхождение от задачи Уатта. Для преобразования возвратно-поступательного движения поршня паровой машины в качания коромысла Уатт изобрел механизм параллелограмма, один из первых шарнирных механизмов в истории машиностроения. Решение Уатта было остроумным, но несовершенным, и Чебышев поставил перед собой цель — разработать такой математический метод, с помощью которого можно было бы определить размеры звеньев шарнирного механизма, одна из точек которого приближенно воспроизводила прямую линию. В 1854 г. он опубликовал мемуар «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов», в которой решил эту и несколько подобных задач. Как мы уже знаем, этот мемуар явился не только первой работой по приближенному синтезу механизмов, но и вообще первым трудом по теории механизмов, в котором важную роль играл математический аппарат.

Метод Чебышева основан на созданной им теории наилучшего приближения функции полиномами. Заключался он в следующем. Пусть задана некоторая функция $f(x)$, которую на некотором отрезке a, b следует заменить другой функцией $P_n(x)$, мало отличающейся от заданной. При этом Чебышев подбирает приближающую функцию так, чтобы абсолютное значение ее максимального отклонения от заданной возможно мало отличалось на данном отрезке от нуля.

В качестве приближающей функции Чебышев принимает полином

$$P_n(x) = \alpha_0\varphi_0 + \alpha_1\varphi_1 + \ldots + \alpha_n\varphi_n,$$

представляющий собой линейную комбинацию $n+1$ функций

$$\varphi_0, \varphi_1 \ldots \varphi_n,$$

линейно независимых и непрерывных на данном отрезке a, b.

Для применения метода Чебышева к решению конкретных задач теории механизмов надо установить аналитическое выражение разности между заданным законом движения и тем законом, который может воспроизвести механизм. Чтобы это воспроизведение имело достаточную точность, разность должна возможно мало отличаться от нуля. На основании теоремы Чебышева составляется система уравнений, которые дают возможность определить параметры механизма. Это решение не только обеспечивает достаточное число уравнений для определения неизвестных параметров механизма, но и позволяет точно подсчитать величину максимального отклонения от заданного закона. Метод является мощным средством для решения задач синтеза механизмов. Чебышев подошел к нему, исходя из практических соображений при поисках механизма, наилучшим образом воспроизводящего прямую линию, однако в дальнейшем сам применял его к значительно более сложным задачам.

Существенную часть творчества Чебышева составляют механизмы, построенные им для проверки теоретических положений.

В серии работ, которые И. И. Артоболевский и Н. И. Левитский посвятили исследованию творчества П. Л. Чебышева в области теории механизмов, исходным был их совместный доклад, зачитанный на заседании семинара в декабре 1944 г. (опубликован в 1947 г.) «П. Л. Чебышев и русская теория механизмов». В следующем, 1945 г. был издан второй выпуск научного наследия Чебышева, который содержал исследование его механизмов.

В этих работах были изучены истоки творчества Чебышева. Авторы пытаются выяснить, почему из всей совокупности механизмов, известных в то время, он выбрал наиболее сложную группу и почему, посвятив ряд мемуаров исследованию этого вопроса и построив много остроумных механизмов (из которых до нашего времени дошла, очевидно, лишь незначительная часть), не создал обобщающего труда по синтезу механизмов. Объясняется это, по мнению авторов, особенностью всего научного творчества Чебышева — его постоянным стремлением к преодолению конкретных трудностей. Это стало причиной того, что на протяжении полувека никто не заинтересовался этой стороной творчества Чебышева. Его математическая слава затмила его прикладные работы.

Обычно в русской и зарубежной литературе имя Чебышева связывают с синтезом направляющих механизмов, однако работы

Артоболевского и Левитского показали, что диапазон его творчества в этом направлении был значительно шире. Чебышев решил большой цикл задач, относящихся к построению механизмов, воспроизводящих симметричные шатунные кривые. Используя свойство симметрии, решил задачи синтеза шарнирных механизмов с остановками и служащих для воспроизведения двух качаний коромысла за один оборот кривошипа, механизмов для передачи вращательного движения и т. п.

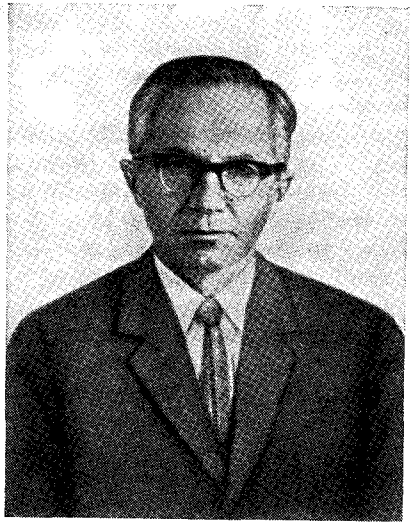
Анализ свойств симметричных шатунных кривых привел Чебышева к постановке ряда задач синтеза приближенно направляющих механизмов, шатунные кривые которых на всем своем протяжении или на некоторых участках приближаются к дугам окружностей и к прямым. Кроме того, он решил и ряд задач синтеза конкретных механизмов (парораспределения, весов, пресса, регулятора и т. п.).

Авторы проанализировали 41 механизм Чебышева и ряд их модификаций, что составило около 80 различных вариантов. Их труд, впервые познакомивший машиноведов с еще одной стороной творчества Чебышева, явился событием для научной общественности — советская школа по теории механизмов получила и новое поле деятельности, и рабочий аппарат для исследования.

В том же юбилейном сборнике была опубликована статья З. Ш. Блоха «Основные результаты работ П. Л. Чебышева по метрическому синтезу плоских механизмов» и статья В. В. Добровольского «Вопросы структуры механизмов в работах П. Л. Чебышева», посвященная структурной формуле Чебышева и встречающимся у него механизмам с пассивными связями.

Работа семинара по теории механизмов имела еще один аспект: он стимулировал привлечение новых кадров к исследованиям по теории механизмов и машин. Базой семинара продолжал оставаться Институт машиноведения. Здесь в 1944 г. начал работать Н. И. Левитский, в 1945 г. сюда перешел из Ленинградского политехнического института С. А. Черкудинов. В эти же годы начали работать в институте ученики И. И. Артоболевского — Н. Е. Кобринский, А. Е. Кобринский, В. А. Зиновьев, Д. С. Тавхелидзе.

Следует отметить, что война сильно изменила географию исследований в области теории механизмов. Эвакуированные заводы подняли технический уровень восточных районов страны и способствовали развитию там большой промышленности, в частности мощного машиностроения, а эвакуированные научно-исследовательские и учебные институты привнесли научную и педагогическую культуру. Вместе с новыми вузами появились новые исследовательские центры, много исследователей работало в заводских лабораториях и конструкторских бюро. Таким образом, уже к концу войны границы школы расширились количественно и качественно, исследовательская тематика приблизилась к насущным нуждам машиностроения.



С. А. ЧЕРКУДИНОВ

Задачи восстановления народного хозяйства и научно-педагогического потенциала в освобожденных от врага районах остро поставили вопрос о кадрах. Сеть технических учебных заведений, которой обладала страна в конце 30-х годов, оказалась недостаточной. Уже в годы войны начинают организовываться новые вузы: в 1942 г. были открыты Омский машиностроительный и Куйбышевский авиационный институты, в 1943 г. — Пензенский политехнический и др.

Военные годы стали переломными в истории советской науки о машинах. Естественно, что это не могло не отразиться также и на дисциплине «теория механизмов и машин». Если в 30-х годах в учебной литературе и содержании отдельных программ был определенный разнобой, то в военные годы преподавание было унифицировано. В 1945 г. издан «Курс теории механизмов и машин» И. И. Артоболевского — учебник для машиностроительных специальностей, ставший основным пособием советской технической школы по механике машин. Высшая школа впервые получила логически строгое изложение классических результатов, полученных советскими учеными в области структуры, классификации, анализа и основ синтеза механизмов, а также кинетостатики механизмов и динамики машин.

Как и другие работы Артоболевского, учебник отличается историчностью изложения. Кроме вступительного очерка, посвященного истории развития теории механизмов и машин в России, рассматривается история отдельных направлений, приводятся исторические и библиографические справки. В учебник включены основы проектирования механизмов с низшими и высшими парами, экспериментальные методы исследования, а также кинетостатика и динамика машин. Значительная часть книги базируется на исследованиях как самого автора, так и других советских машиноведов.

*

Первые годы советской школы теории механизмов и машин проходили в нелегких условиях, но результаты были значительными. Уже существовал официальный центр исследований — Институт машиноведения. При нем работал семинар, была намечена

тематика исследований, создана экспериментальная база, и первые результаты разработок школы были доведены до высших учебных заведений. Кроме центра в Москве возникли научно-исследовательские группы на периферии, главным образом при кафедрах вузов и в отделах механики научно-исследовательских и проектных институтов. Но творческих специалистов было еще немного, и одной из важнейших задач школы сразу же стал вопрос подготовки кадров в области теории механизмов и машин.

В послевоенные годы советская школа теории механизмов и машин вступила уже как оформившаяся научная группа, имеющая собственную тематику, базу и собственные методы исследования. Коллективные методы исследования и новый тип организации исследовательской работы, семинарские обсуждения полученных результатов, наконец, количественный рост школы — все это стимулировало ее дальнейшее развитие. Впервые наука о машинах стала действительной теорией машиностроения и обратила свое внимание не на абстрактные машины и механизмы, а на реальные машины.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ. НАЧАЛО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

В 1946 г. Первая сессия Верховного Совета СССР второго созыва приняла Закон о четвертом пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг. Особенно важные задачи встали перед советскими машиностроителями: нужно было перестраивать на ходу технологические процессы восстанавливаемых заводов, одновременно создавая новые машины и новое оборудование. Повысилась роль средств малой механизации в машиностроении, в горном деле, на строительных и дорожных работах. Возникшая в предвоенные годы тенденция автоматизации производства теперь становится насущной необходимостью.

Через месяц после окончания Великой Отечественной войны, 15 июня 1945 г., открылась Юбилейная сессия Академии наук СССР, посвященная 220-летию со дня ее основания. ЦК ВКП(б) и СНК СССР обратились к Академии с приветствием, в котором отмечалась ее большая роль в деле развития отечественной науки и выражалась уверенность, что и в дальнейшем Академия наук будет развивать лучшие традиции отечественной и зарубежной науки, всемерно использовать ее достижения для развития хозяйства и культуры народов СССР и еще выше поднимет авторитет советской науки среди народов мира. Закрывая сессию, президент АН СССР академик В. Л. Комаров отметил, что она явилась «всенародным признанием военного, государственного и культурного значения науки. Но одновременно она была мировым признанием тех преимуществ для развития науки, которые созданы социалистическим строем».

В ноябре 1946 г. состоялись первые послевоенные выборы в Академию наук, по отделениям физико-математических и технических наук, в частности, были избраны А. А. Андронов, И. И. Артоболевский, А. И. Берг, А. Н. Динник, М. В. Келдыш, М. А. Лаврентьев, А. И. Некрасов, И. Г. Петровский, П. А. Ребиндер, Д. В. Скобельцын и др.

Кандидатура И. И. Артоболевского была выдвинута академиками Н. Г. Бруевичем и Л. С. Лейбензоном, при этом была подчеркнута тесная связь его научных результатов с практическими потребностями, в частности указано на важность проведенных

им исследований по структуре и кинематике механизмов для современного машино-, автомато- и приборостроения.

«Проектирование всякой машины, — сказал Л. С. Лейбензон, — начинается с детально структурного и кинематического расчета. Целый ряд самых совершенных механизмов-автоматов (обувные, пищевые, полиграфические, автоматы управления артиллерийским огнем и т. д.) представляют собой чисто кинематические устройства, в которых действующие силы или очень малы, или же не могут быть учтены в последующем, после кинематики, силовом расчете». Далее он отметил, что в числе 80 работ И. И. Артоболевского 25 посвящены проблемам кинетостатики, динамики и теории регулирования и все они связаны с нуждами машиностроения: «Как известно, курс теории машин и механизмов, изданный двумя изданиями, является основным пособием конструкторских бюро заводов, проектировочных организаций и т. д. Из числа работ, посвященных непосредственно методам расчета специальных машин, можно указать на «Структуру и кинематику механизмов с качающимися шайбами». Работа посвящена теории гидравлических передач и механизмов двигателей, широко применяющихся в современном машиностроении, танкостроении, моторостроении и т. д. Монография «Теория и методы уравновешивания щековых дробилок» посвящена практической задаче проектирования этих машин. По методам, разработанным в монографии «Динамический анализ компрессоров советского производства», велось проектирование первых компрессоров отечественного производства. Наконец, нельзя не отметить двухтомной монографии по анализу машин-автоматов, посвященной методам анализа и проектирования автоматов пищевой, полиграфической и металлообрабатывающей промышленности».

Л. С. Лейбензон остановился на методе расчета маховика, предложенном Артоболевским: «В настоящее время существует метод Радингера, основанный на построении диаграмм тангенциальных сил, и метод Виттенбауэра, основанный на построении диаграммы кинетической энергии в функции приведенных масс. Конструкторы и инженеры обычно пользуются методом Радингера вследствие его большей простоты, но при этом забывают, что в этом методе заложена принципиальная ошибка, заключающаяся в том, что первоначально предполагается равномерное вращение кривошипа и все силы инерции определяются при этом предположении. Получив после этого неравномерное вращение кривошипа, Радингер устраняет эту неравномерность путем постановки маховика. Таким образом, метод Радингера содержит явные противоречия, и, как указывалось еще в работах Жуковского, он является принципиально неверным. Для современных машин, обладающих в некоторых случаях весьма большой неравномерностью хода, подсчет по методу Радингера дает преувеличенное значение маховых масс до 20—30%. Смысл работы Артоболевского заключается в том, чтобы показать, что если к этой

задаче применить уравнение Лагранжа второго рода, то задача может быть решена совершенно точно, без всяких упрощающих или искажающих действительное движение предположений. Эту задачу Артоболевский решил, показав, как может быть найдена производная от приведенного момента инерции по углу поворота. Для нахождения этой производной можно воспользоваться разложением функции в ряд Фурье (метод Рериха) или непосредственным дифференцированием диаграмм приведенных моментов инерции, или, наконец, методом планов ускорений, который, как известно, является всегда построенным для машин, динамический расчет которых производится. Применяя метод, предложенный Артоболевским, инженеры смогут использовать хорошо известный им метод расчета маховых колес и при этом не получать тех грубых ошибок, которые получаются при пользовании методом Радингера».

Среди исследований Артоболевского в области синтеза механизмов Л. С. Лейбензон остановился на разработанной им теории синтеза центроидных механизмов: «Укажем только несколько примеров применения центроидных механизмов. Некруглые колеса применяются, и очень широко, в современных автоматах и механизмах управления артиллерийским огнем. В механизмах двигателей и автоматов широко применяются механизмы перекатывающихся рычагов, являющихся центроидами. Вся теория построения циклоидальных и цевочных зацеплений основана на теории центроид. Последние марки заграничных редукторов, применяющихся в самолетостроении и представляющих собой сложные цевочные планетарные передачи, являются также центроидными механизмами». (Монография И. И. Артоболевского «Синтез механизмов», в которой была изложена теория центроидных механизмов, в 1946 г. была отмечена премией Чебышева.)

Далее Лейбензон указал на большой труд И. И. Артоболевского «Механизмы», над которым он работал на протяжении десяти лет (т. 1 вышел в 1947 г., т. 2 — в 1948, т. 3 — в 1949, т. 4 — в 1951 г.). В целом это издание составило энциклопедию современной науки о механизмах — в него вошло описание более 4000 различных механизмов[1]. Помимо механизмов с жесткими звеньями описывались также механизмы с гидравлическими, пневматическими и электрическими устройствами. Справочник был предназначен для практического использования, поэтому автор принял своеобразную, как бы синтезированную, систему классификации — по структурно-конструктивным признакам и по функциональному назначению механизмов.

---

[1] В 1808 г. был опубликован курс построения машин Ланца и Бетанкура — первый в мировой истории науки учебник науки о машинах. Он имел таблицу, в которую авторы включили все известные им механизмы, применявшиеся машинной техникой конца XVIII — начала XIX в. Таковых оказалось около 140. Следовательно, за полтора века количество механизмов возросло почти в 30 раз.

Справочник разошелся крайне быстро и сразу же стал настольной книгой конструкторов, что подтвердило важность издания справочной литературы по механизмам.

В 1947 г. профессор С. О. Доброгурский в соавторстве с Ф. А. Соколовым и Е. И. Захаровой издал краткое справочное руководство по механизмам. В 1950 г. С. Н. Кожевников в соавторстве с Я. И. Есипенко и Я. М. Раскиным выпустил «Элементы механизмов», в которых было описано более 2500 механизмов и их элементов, классифицированных по функциональным признакам.

Д. С. ТАВХЕЛИДЗЕ

В первые послевоенные годы семинар по теории механизмов и машин при Институте машиноведения АН СССР был единственным, но уже в 1947 г. организовался его филиал в Ленинграде, руководителем которого стал Х. Ф. Кетов, а с 1948 г. — М. В. Семенов. В 1950 г. организуется филиал семинара в Харькове (под руководством Я. Л. Геронимуса), в 1951 г. — в Днепропетровске (под руководством С. Н. Кожевникова) и в Тбилиси (под руководством Д. С. Тавхелидзе).

С 1943 по 1947 г. на заседаниях семинара было заслушано около 100 докладов. В ноябре 1947 г. на заседании семинара, посвященном 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, И. И. Артоболевский прочитал доклад «Успехи советской теории механизмов и машин», в котором подвел итог работы семинара и советской школы по теории механизмов и машин.

Уже в эти годы выделились основные направления семинара: учение о структуре и классификации механизмов, анализ и синтез плоских шарнирных механизмов, теория пространственных механизмов, теория зубчатых и кулачковых механизмов, кинетостатика и динамика машин, теория машин автоматического действия.

Исходной системой структурной классификации для дальнейших исследований советской школы теории механизмов и машин послужила классификация Ассура, обработанная и обобщенная И. И. Артоболевским; она же излагалась почти во всех учебниках и учебных пособиях по теории механизмов. При ее разработке Артоболевский развил и критически переработал также структурные идеи Чебышева, Сомова и Гохмана.

Основой классификации является теория кинематических пар. Артоболевский различает пары от первого класса (пять степеней свободы, одно условие связи) до пятого (одна степень свободы, пять условий связи). При этом любая высшая пара может быть заменена кинематической цепью, состоящей из звеньев, входящих только в пары пятого класса. На этом основании исследование механизмов с парами любого класса можно свести к исследованию механизмов с парами только пятого класса. Это обстоятельство вводит единство в изучение механизмов и обосновывает возможность привести структурное исследование (и построение) механизмов к исследованию (и построению) структурных схем.

Исходя далее из условия Сомова—Малышева, Артоболевский различает пять семейств механизмов. Интересна логическая последовательность классификации: в ней не различаются плоские и пространственные механизмы, а плоские механизмы рассматриваются как частный случай пространственных. В этой системе нулевым семейством механизмов называется такое, к которому относятся механизмы, на звенья которых не наложено никаких общих связей. Если на звенья механизма наложена одна общая связь, то соответствующие механизмы относятся к первому семейству, ко второму относятся механизмы, на звенья которых наложены две общие связи, к третьему — три общие связи. Так, например, могут быть уничтожены три поступательных движения (при ортогональной системе координат); соответствующие механизмы третьего семейства называются сферическими. Если же уничтожить одно поступательное движение и два вращательных, то соответствующие механизмы, также относимые к третьему семейству, будут плоскими; отсюда вытекает возможность исследования сферических механизмов методами, разработанными для плоских механизмов.

Последним семейством является четвертое, на звенья которого наложены четыре общие связи. К этому семейству, в котором полностью отсутствуют вращательные пары, относятся, например, клиновые механизмы.

Одним из важных понятий теории структуры является группа. Группой называется такая кинематическая цепь, которая после ее присоединения крайними свободными элементами пар к стойке будет иметь нулевую степень подвижности и которую нельзя расчленить на самостоятельные кинематические цепи нулевой степени подвижности. Простейшей группой третьего семейства является двухповодковая, которую для плоских механизмов иногда называют диадой Сильвестра.

Для образования кинематических групп различных семейств И. И. Артоболевский предложил метод развития контура, заключающийся в следующем: всякая достаточно развитая группа может состоять из одного или нескольких контуров, образующих каждый в отдельности замкнутую кинематическую цепь и несколько незамкнутых цепей, которыми звенья контура могут при-

соединяться к звеньям первичного механизма. Незамкнутые цепи, состоящие из одного лишь звена, называются поводками. Цепи, состоящие из нескольких звеньев, носят название развитых поводков, или ветвей. В качестве основной структурной составляющей группы Артоболевский принимает замкнутый контур, который может быть жестким или обладать подвижностью. В самом общем семействе — нулевом — подвижный контур должен иметь не менее семи пар пятого класса, в первом семействе — не менее шести пар пятого класса и т. д. Поэтому контур, обладающий пятью или четырьмя парами пятого класса, будет в цепях нулевого или первого семейства жестким, а в цепях третьего и четвертого семейств его звенья будут иметь взаимную подвижность.

Ведущей идеей Артоболевского в развитой им классификации является принцип последовательного вырождения цепей путем наложения на них некоторых общих связей. Этот принцип распространяется и на методы кинематического анализа: механизмы нулевого семейства исследуются наиболее общими методами, частными случаями которых являются методы анализа механизмов, принадлежащих ко всем прочим семействам. Этот принцип еще раз подтверждает правильность структурного подхода: действительно, механизмы третьего семейства исследуются одинаковыми методами.

Если построить механизмы нулевого семейства при помощи кинематических пар только пятого класса, то структурное уравнение групп этого семейства будет иметь форму

$$6n - 5p_5 = 0,$$

откуда $p_5 = \frac{6}{5}n.$

Подстановкой значений $n = 5, 10, 15, \ldots$ получим для p_5 значения 6, 12, 18... Первая пара этих значений соответствует группе второго класса второго порядка. Присоединяя ее концевыми элементами шарниров к ведущему звену и к стойке, получим семизвенный шарнирный пространственный механизм нулевого семейства второго класса второго порядка. Заменяя пары пятого класса парами высших классов и соответственно сокращая число звеньев, получим механизмы того же семейства, класса и порядка. Аналогично образуются механизмы второго класса других семейств. Механизмы третьего класса всех семейств будут включать жесткие контуры.

Таковы были принципиальные положения классификации, предложенной И. И. Артоболевским. Классификация, разработанная В. В. Добровольским, хотя исходила из тех же оснований, имела некоторые особенности — и принципиальные, и терминологические. Двухзвенный механизм, механизм первого класса по Артоболевскому, Добровольский называет нулевым механизмом и образует более сложные механизмы обычным путем, последовательно подсоединяя к нулевому механизму и к стойке группы,

которые он называет цепями наслоения. Если такая цепь не изменяет числа степеней свободы механизма, то он называет ее ассуровой; остальные цепи, которые меняют это число, он делит на порядки, положительные и отрицательные, в зависимости от того, увеличивают или уменьшают они число степеней свободы и на сколько единиц. Такие цепи он называет неассуровыми; при этом ассуровы цепи будут иметь нулевой порядок.

Как указывает Добровольский, хотя наибольшим вниманием до последнего времени пользовались ассуровы цепи благодаря их кинематической и статической определимости, иногда целесообразно вводить в исследование и неассуровы цепи. При этом преимущественное значение могут иметь цепи отрицательных порядков, поскольку они могут соединять несколько механизмов с независимыми движениями в один и служить, таким образом, средством передачи движения между ними.

В классификациях, предложенных И. И. Артоболевским и В. В. Добровольским, пассивные и излишние связи, как не влияющие на кинематику механизма, не введены в систему и остаются, если можно так сказать, за балансом. Н. И. Колчин сделал попытку построить классификацию таким образом, чтобы в нее входили и механизмы с пассивными связями. Он строит классификационную таблицу, в которой по диагонали помещает символы «основных механизмов», т. е. тех, которые учтены классификациями Артоболевского и Добровольского, в остальные клетки таблицы (под диагональю) помещает «специальные» (по терминологии Колчина) механизмы, которым присущи повышенные пассивные ограничения, связанные со специальным расчетом их геометрических параметров или с особыми технологическими условиями изготовления. Механизмы, расположенные выше диагонали, он называет непредельными; число их пассивных ограничений меньше того, которое допускается, исходя из наличия в них числа общих связей. Они имеют ценную практическую особенность: меньшую чувствительность к погрешностям изготовления и монтажа по сравнению с основными и специальными механизмами.

Л. В. Ассур строил группы высших порядков и классов, применяя способ, названный им методом развития поводка: поводок развивается в жесткий треугольник, два свободных угла которого выпускают по поводку. В дополнение к этому способу В. В. Добровольский предложил метод разложения шарнира. Идея метода заключается в замене шарнира, соединяющего два звена, системой двух стержней. Разлагая внешний шарнир двухповодковой группы, можно получить трехповодковую группу. Таким способом можно получить и более сложные группы, в частности и такие, которые отсутствуют среди статически определимых групп Ассура.

Однако и метод Добровольского не смог открыть всех возможных групп, которые смогли бы пополнить классификационную си-

стему плоских механизмов. Учитывая это, Г. Г. Баранов в 1948 г. предложил новую классификацию групп, исходя из числа звеньев.

Если подсоединить группу Ассура к жесткому звену всеми свободными поводками, то получается ферма. Наоборот, если изъять одно звено из статически определимой фермы, то она преобразуется в группу Ассура. Это последнее обстоятельство и принимает Баранов в качестве исходного для образования новых групп.

Таким образом, все попытки улучшить теорию структуры механизмов и пополнить классификацию исходили из одних и тех же положений, и некоторые теоретические исправления едва ли оказали особенное влияние на практические методы исследования механизмов.

Исследования в области кинематики плоских шарнирных механизмов были направлены главным образом на разработку методов синтеза механизмов. Продолжено было освоение и дальнейшее развитие классического наследия Чебышева.

В работе Н. И. Левитского (1946 г.) «Синтез механизмов по Чебышеву» в качестве функции, характеризующей отклонение от заданной зависимости, принимается взвешенная разность. В более поздней своей монографии «Проектирование плоских механизмов с низшими парами» Левитский комбинирует способ наименьших квадратов с наилучшим приближением функций полиномами. Для получения достаточно удобного выражения отклонения от заданной функции он предлагает использовать взвешенную разность с параметрическим весом, представляемую в виде некоторого обобщенного полинома; она может иметь и более сложный вид. При вычислении параметров автор применяет квадратическое приближение, интерполирование и наилучшее приближение. В качестве примеров в монографии разобраны проектирование шарнирного четырехзвенника и кривошипно-ползунного механизма по заданному закону движения и по заданной траектории.

Исследования в области синтеза плоских шарнирных механизмов проводились и в других направлениях. Так, в работе М. В. Семенова (1947) были изучены шатунные кривые четырехзвенных механизмов с ограничением заданной конфигурацией. Он решал эту задачу путем разложения шатунных кривых на отдельные гармоники. Одну из гармоник считал основной, а другие варьировал таким образом, чтобы шатунная кривая получила требуемую конфигурацию; примерными очертаниями шатунных кривых автор задавался.

В 1948 г. вышла из печати работа З. Ш. Блоха «Приближенный синтез механизмов», в которой автор изложил как результаты самого Чебышева, так и результаты, полученные в развитие его идей, точнее — о применении идей Чебышева к некоторым типам механизмов.

В ряде работ С. А. Черкудинова для синтеза шарнирных механизмов был предложен способ интерполирования с кратными узлами. Черкудинов проводил исследования в области геометрического синтеза механизмов по Бурместеру, а затем перешел к аналитическому решению тех же задач. Таким образом произошло сближение методов, и идеи Бурместера были приведены «в непосредственный контакт» с идеями Чебышева.

40-е и 50-е годы характеризуются интенсивной разработкой методов синтеза механизмов. Большинство работ было выполнено по обоим направлениям приближенного синтеза. Однако в связи с возросшей ролью вычислительной техники увеличилось число исследований в области точных методов синтеза механизмов. В этом направлении работал Н. Г. Бруевич; в 1946 г. он опубликовал монографию «Точность механизмов», а в 1954 г., в соавторстве с Б. Г. Доступовым, — «Счетно-решающие устройства». Механизмами для точного воспроизведения определенных математических зависимостей занимался в эти годы и Артоболевский. Он создает механизмы для решения квадратных уравнений, для возведения в куб, для черчения кривых высших порядков, механизмы коникографов и ряд других. Все они рассчитаны на прикладное значение и возможность использования для решения некоторых расчетных и технологических задач. Подобное направление развивал также В. В. Добровольский в монографии «Теория механизмов для образования плоских кривых».

К работам по точному синтезу механизмов примыкают исследования А. Е. Кобринского (1951) о практическом расчете на точность механизмов с низшими парами, т. е. о зависимости кинематических ошибок механизмов от отклонений в размерах, вызванных несовершенством технологического процесса.

Подробное описание механизмов для выполнения математических операций и для черчения кривых имеется в монографии 1954 г. Н. Е. Кобринского «Математические машины непрерывного действия» (этому же вопросу была посвящена более ранняя монография (1938) Н. Г. Бруевича «Механизмы точной механики»).

Большой вклад в теорию анализа плоских механизмов был сделан В. А. Зиновьевым. В монографии «Аналитические методы расчета плоских механизмов» (1949) он предлагает метод, по которому схемы механизмов представляются в виде векторных контуров, для которых составляются уравнения «замкнутости» в тригонометрической форме. Автор дает точные решения для механизмов второго класса (по классификации Артоболевского), чем и решается задача об определении их положений. Несколько сложнее обстоит дело с определением положений механизмов, принадлежащих к более высоким классам, поскольку их схемы приводятся к сложным векторным контурам; в таких случаях получаются системы из четырех, шести и большего числа уравнений, решаемые только совместно. Автор предложил приближенные ме-

тоды их решения, позволяющие получить решения с любой наперед заданной точностью. Следующая задача об определении скоростей и ускорений (а также реакций в кинематических парах при кинетостатическом расчете) сводится или к дифференцированию уравнений замкнутости, или к составлению и решению уравнений замкнутости векторных контуров скоростей и ускорений.

В. А. ЗИНОВЬЕВ

Несколько работ было выполнено по графическим и графоаналитическим методам исследования плоских механизмов. В частности, Д. К. Конвисаров разработал (достаточно общий) метод построения кривых четвертого порядка, описываемых точками шатуна кривошипно-ползунного механизма (1946). В работе «Графоаналитический метод расчета плоских шарнирных механизмов» (1948) М. В. Семенов предложил единый метод кинематического и динамического анализа таких механизмов с использованием геометрических характеристик механизмов, представленных рядами Фурье, позволяющий решать также и некоторые задачи синтеза механизмов.

Совершенно новая для школы тема была начата работами Д. С. Тавхелидзе и А. А. Тамамшева по исследованию механизмов с изменяемыми размерами звеньев. Тавхелидзе с этой точки зрения исследовал (1951) пятизвенные механизмы, установив, что при определенных сопротивлениях в парах и наложенных на углы поворота ограничениях из них могут получиться различные в кинематическом отношении механизмы принужденного движения. Тамамшев решил задачу синтеза пятизвенных механизмов для случая превышения сопротивления в одной из кинематических пар суммы сопротивлений в других парах (1951). С. Н. Кожевников и Л. И. Цехнович показали, что существует группа плоских механизмов, которая не может быть введена ни в одну из существующих классификаций; характерной является то, что начальное звено, закон движения которого задается, не связано с неподвижным. К таким механизмам относятся, в частности, механизм шагания экскаватора, гидравлические механизмы с качающимся цилиндром и т. п. Авторы выяснили структуру таких механизмов и указали применимые к ним методы кинематического анализа.

Как видим, в эти годы работы в области кинематики пространственных механизмов были направлены на приближение теоретических исследований к запросам практики, к созданию практических методов исследования. Кроме того, что очень существенно, начинается иной подход к самим задачам: при решении сложных задач кинематики пространственных механизмов методами начертательной и проективной геометрии быстро растет возможность ошибки в построениях. К решению таких задач начинают привлекать новый математический аппарат или совершенствовать старый, как случилось, например, с винтовым исчислением.

Д. С. Тавхелидзе рассмотрел вопрос о существовании кривошипа у пространственного шарнирного четырехзвенника и решил несколько частных случаев (1946). В. В. Добровольский изучал векторные операции в сферическом изображении; разработанный метод он применил для кинематического и кинетостатического исследования механизмов с низшими парами от трехзвенных до семизвенных (1946). С. Н. Кожевников в 1947 г. рассмотрел некоторые задачи анализа и синтеза пространственных кривошипно-коромысловых механизмов, применяемых для передачи движения между скрещивающимися валами при переменном отношении угловых скоростей (такие механизмы используются, в частности, в легкой промышленности). В. В. Егоров рассмотрел задачи, связанные с графическим определением положений пространственных механизмов нулевого семейства с низшими парами. Подобные механизмы широко применяются в сельскохозяйственном машиностроении, в текстильном и общем машиностроении, в двигателе- и самолетостроении. В работе исследованы диадные механизмы нулевого семейства с низшими парами (1948).

В. А. Зиновьев в ряде статей, опубликованных в 1949—1952 гг., метод, разработанный им для решения задач плоской кинематики, распространил на пространственные механизмы. В 1952 г. он опубликовал обобщающую монографию «Пространственные механизмы с низшими парами», в которой рассмотрел вопросы кинематического анализа пространственных механизмов с любой наперед заданной точностью и вопросы их синтеза. Как и в предыдущей работе, автор исходит из представления механизмов в виде замкнутых контуров. Соответствующие уравнения положений путем дифференцирования дают уравнения скоростей и ускорений. Метод позволяет упростить решение сложных задач пространственной кинематики: любую кинематическую задачу, относящуюся к пространственному механизму, можно разделить на отдельные части, а при их решении удается обойтись без векторных величин угловой скорости и углового ускорения, что упрощает определение скоростей и ускорений отдельных точек механизма; в свою очередь, при определении ускорений их не приходится раскладывать на отдельные составляющие.

Новыми в теории пространственных механизмов явились методы с использованием тензорного и винтового исчислений (тен-

зорные методы впервые в механике появились в самом начале XX в). В статье «Тензорный метод в теории пространственных механизмов» (1952) С. Г. Кислицын применил тензорное исчисление к разработке аналитического метода для решения задач об определении положений звеньев пространственного механизма. Метод основан на использовании винтовых аффиноров.

Винтовое исчисление в России разрабатывали И. М. Занчевский, П. О. Сомов, А. П. Котельников, Д. Н. Зейлигер; последний дал несколько примеров применения винтового исчисления к задачам кинематики. В СССР методы винтового исчисления использовал в своей работе С. Г. Кислицын; с 1947 г. статьи по этим вопросам публикует Ф. М. Диментберг: он применил метод к определению положений пространственных механизмов.

Ю. Ф. Морошкин в статье «Основы аналитической теории механизмов» (1951) построил аналитическую теорию кинематических пар и кинематических цепей, используя линейную алгебру. Автор решает проблему уравнений между координатами кинематической цепи для любых систем, подчиненных голономным связям, — таким образом, с большой степенью общности. Его метод исследования состоит в последовательном применении уравнений преобразования. В работе изложена теория пар, теория простых цепей и предложены основные уравнения геометрии механизмов.

Исследования в области теории шарнирных механизмов и, в частности, пространственных в значительной степени повлияли и на методику исследования механизмов с высшими парами, зубчатых и кулачковых. Теория зубчатого зацепления исследовалась Н. И. Колчиным, В. А. Гавриленко, Ф. Л. Литвиным и другими в направлении развития геометрической теории эвольвентных передач и применения ее к различным частным случаям. Гавриленко написал по этим вопросам ряд монографий (1946, 1949), издал работу по классификации и терминологии зубчатых передач (1953). Колчин построил аналитическую теорию червячного зацепления (1946—1948), рассмотрел определение радиусов кривизны плоских сечений огибающей поверхности по заданному уравнению огибаемой и ее поверхности зацепления на примере ортогональной червячной передачи (1951). Литвин занимался вопросами теории и производства некруглых зубчатых колес и зубчатых передач, применяемых в машиностроении (1946—1953). В 1951 г. им была предложена методика исследования пространственных зацеплений с линейным касанием поверхностей, являющаяся дальнейшим развитием идей Х. И. Гохмана в этом направлении.

В. Н. Кудрявцев продолжал исследования в области теории и проектирования сложных зубчатых механизмов; результатом их явилась монография «Зубчатые и червячные передачи», вышедшая в 1951 г. В. А. Юдин предложил методику анализа и синтеза планетарно-цевочных редукторов с внутренним внеполюсным зацеплением (1947).

В. А. ГАВРИЛЕНКО

Теория кулачковых механизмов привлекла внимание исследователей еще в 30-х годах в связи с зарождением машин автоматического действия. В 40-х и особенно 50-х годах эти исследования начали быстро развиваться, поскольку к проектированию и изготовлению кулачков стали предъявляться новые повышенные требования. В ряде работ В. Т. Костицын изучил вопрос о выборе размеров кулачковых механизмов с качающейся штангой и пространственных кулачковых механизмов с учетом угла давления (1947—1951). Он, а также А. Е. Кобринский рассмотрели влияние ударов на кулачковый механизм и условия их предупреждения.

Ряд исследований в области теории, проектирования и производства кулачковых механизмов выполнил Л. Н. Решетов; его монография «Кулачковые механизмы» была издана дважды — в 1948 и в 1953 гг.

Он занимался также теорией мальтийских и планетарных механизмов (1952).

Этот краткий обзор исследований по вопросам кинематики механизмов не может охватить ни всех работ школы, ни развитых школой направлений, так как в эти годы появились труды, где пересекались идеи кинематики и идеи динамики. Уже в теории кулачковых механизмов пришлось отказаться от «чисто» кинематического исследования введением угла давления; работы в области кинетостатики предполагали совместность кинематического и динамического исследования; введение в практику механизмов с упругими звеньями потребовало исследований не только кинематических, но и динамических параметров. Поэтому уже в 40-х годах начинается поиск решений «на стыке» или с учетом некоторых специальных условий, а диапазон исследований в области динамики значительно увеличивается. В этом отношении весьма интересной явилась высказанная С. Н. Кожевниковым необходимость классификации с выделением в отдельные группы механизмов, объединяемых общими методами структурного, кинематического и динамического анализа:

— механизмы с одними твердыми и гибкими нерастяжимыми телами в качестве звеньев, движение которых можно исследовать, используя законы теоретической механики;

— механизмы с твердыми и упругими звеньями, движение которых можно исследовать, используя методы теории упругости, т. е. принимая во внимание влияние деформации упругих звеньев на закон движения ведомых звеньев;

— гидравлические и пневматические механизмы, движение ведомых звеньев в которых можно исследовать, используя законы гидродинамики сжимаемой и несжимаемой жидкости.

Уже в подобной классификации отражается тенденция распространения интересов теории механизмов и машин за пределы ее классических методов.

А. Е. КОБРИНСКИЙ

Выше упоминалось о новом методе кинетостатики, предложенном В. А. Зиновьевым. А. Е. Кобринский рассмотрел кинетостатический расчет механизмов с пассивными связями и показал, что учет зазоров дает возможность определять давления в кинематических парах обычными методами кинетостатики (1948). Он же рассмотрел кинетостатику статически неопределимых механизмов (1950).

Эти работы явились дальнейшим развитием некоторых идей В. В. Добровольского (1947—1949). Кинетостатикой механизмов с высшими парами при учете сил трения, а также определением КПД таких механизмов занимался также В. А. Юдин (1950).

Кинетостатическое исследование поступательной пары в предположении, что зазоры между ползуном и направляющими пренебрежимо малы, выполнил Б. М. Абрамов (1951). Кинетостатическое исследование методом жесткого рычага Жуковского для своего варианта групп Ассура провел Г. Г. Баранов (1952). В. А. Горанский развил метод кинетостатического исследования механизмов с несколькими степенями свободы, основанный на принципе возможных перемещений (1953).

Классическая задача динамики — проблема расчета маховика — была разработана А. П. Малышевым, В. А. Зиновьевым и М. И. Батем. Малышев предложил своеобразную методику расчета маховых масс с помощью способа последовательных приближений (1953). Способ увязывается с законом сохранения энергии и дает достаточно точные результаты при практическом его использовании. Зиновьев развил точный и приближенный методы расчета маховых масс с учетом зависимости движущего момента

от скорости (1954). Эти методы важны для производства, так как большинство промышленных агрегатов снабжено электродвигателями, развиваемые моменты которых зависят от угловой скорости ротора. Бать предложил приближенный метод расчета маховика, являющийся развитием метода К. Э. Рериха (1954). Этот метод выведен в предположении переменного приведенного момента инерции механизма для случая, когда силы зависят не только от положения, но и от скорости звена приведения, и основан на определении одного наибольшего отклонения угловой скорости от ее среднего значения.

В работе «Уравнения движения плоского стержневого механизма с упругим промежуточным звеном» (1952) М. И. Бать получил дифференциальные уравнения движения с учетом массы упругого звена. В этом же направлении работал А. Е. Кобринский, рассмотревший в работах 1948—1956 гг. динамику механизмов с упругими звеньями и с упругими связями. Исследованию движения механизмов при определенных условиях (твердого тела при связях с трением) были посвящены работы Б. М. Абрамова (1949—1951). И. И. Артоболевский в соавторстве с Б. М. Абрамовым изучил движение машины для случая сил, зависящих от скорости (1948); ими написана работа «О некоторых формах уравнений движения машинного агрегата», изучен режим движения машины, его устойчивость, установившееся и неустановившееся движение, выяснен динамический коэффициент неравномерности хода машин.

В этих работах, выполненных в 1951—1954 гг., И. И. Артоболевский практически коснулся всех основных вопросов динамики машин.

С. Г. Кислицын дал решение задачи об установившемся движении машины с помощью метода последовательных приближений (1955). Я. Л. Геронимус исследовал динамический синтез механизмов по Чебышеву (1946—1952), применив разработанные методы для решения задач о противовесах и синтеза механизма подъемного крана.

Колебания валов машин привлекли к себе внимание исследователей еще в 30-х годах. В послевоенные пятилетки появляются новые задачи: теория колебаний и, в частности, нелинейная механика используются при исследовании динамики технологических машин (например, вибрационных).

Повысилась роль экспериментальных методов исследования. И. И. Артоболевский в конце 30-х годов при отделе теории механизмов и машин Института машиноведения организовал экспериментальную лабораторию. Работой, положившей начало серии экспериментально-теоретических исследований движений реальных механизмов, было исследование движения вала, вращающегося в подшипнике без смазки со значительным зазором, выполненное И. И. Артоболевским, В. Т. Костицыным и Н. П. Раевским (1947).

В 1948 г. для учета влияния зазоров в кинематических парах был поставлен эксперимент Н. П. Раевским и А. Е. Кобринским: проведено экспериментальное исследование шарнирного параллелограмма с дополнительным спарником. Обычными методами кинетостатики усилия в кинематических парах с пассивными связями определить нельзя, так как число неизвестных превышает число уравнений, которые можно составить для схемы механизма. В 1952 г. вышла монография Раевского «Методы экспериментального исследования механических параметров машин».

М. М. ГЕРНЕТ

Экспериментальные методы были развиты и в теории балансировки. М. М. Гернет в работе «Экспериментальное определение центробежных моментов инерции и динамическая балансировка без балансировочной машины» (1950) нашел простой и точный метод и применил его для определения динамической неуравновешенности вращающихся частей машин. Балансировочные машины и их применение в разных областях машиностроения были исследованы Б. В. Шитиковым (построившим прекрасную балансировочную машину) и А. Ф. Поповым.

В 1950 г. И. И. Артоболевский, В. Т. Костицын и Н. П. Раевский выполнили экспериментальные и теоретические исследования по определению давлений на опоры штанги кулачкового механизма. В ряде работ описывалась аппаратура эксперимента — «Динамическое исследование машин оптическим тахографом» А. Т. Чувикова (1950), «Аппаратура для исследования рабочих машин» С. Н. Кожевникова, Я. М. Раскина, Л. И. Цехновича и др. (1953), в которой описывались приборы, спроектированные и изготовленные на кафедре теории механизмов и машин Днепропетровского металлургического института: аппаратура для измерения и регистрации перемещений, снятия циклограмм, определения скоростей и ускорений, для измерения сил и моментов сил.

Переход к исследованию машин-автоматов еще более расширил тематику экспериментальных методов исследований: в поле зрения исследователей попадают особенно характерные для автоматов механизмы — кулачковые, гидравлические, пневматические и гидро-пневматические. И. И. Артоболевский, Е. В. Герц,

А. Е. Кобринский и Н. П. Раевский исследовали динамику пневматических механизмов и дали метод расчета поршневого пневматического устройства с золотниковым распределением (1953—1954). В. В. Бердников исследовал динамику поршневых пневматических двигателей (1954), Э. И. Шехвиц, Е. Г. Нахапетян и другие — динамику отдельных механизмов станков-автоматов (1952—1954). В 1954 г. вышел 59 выпуск «Трудов» семинара, целиком посвященный экспериментальным методам. В частности, в этом выпуске были статьи М. Я. Чирскова и Г. И. Рощина, касающиеся совсем новой области динамики машин — построения механизма протеза.

В вышедшей в 1949 г. монографии «Машины-автоматы» С. И. Артоболевский проанализировал рабочие машины, установив, что их механизмы можно подразделить на четыре характерные группы — исполнительные, трансмиссионные, установочные и механизмы управления и регулирования технологическим процессом. Он указал на характерную для современных рабочих машин тенденцию полного исключения из технологического процесса ручного труда и возможно полной автоматизации операций регулирования и контроля технологического процесса и выпускаемой продукции. С. И. Артоболевский делит рабочие машины и машины-автоматы на две характерные группы в зависимости от методов исследования и расчета кинематических схем. К первой группе относит молотилки, комбайны, прокатные станы, волочилки; ко второй — разного рода автоматы. Рабочие органы машин первой группы могут внутри цикла быть в любых относительных положениях, во второй группе относительное положение рабочих органов для каждого момента времени должно быть вполне определенным и единственно возможным — именно это обстоятельство является основным при расчете и проектировании рабочих органов. В книге приводится подробная классификация рабочих органов по кинематическим признакам и типовые кинематические схемы исполнительных механизмов, а также типовые схемы машин-автоматов с основами их синтеза.

В 1950 г. вышла в свет работа С. И. Артоболевского «К вопросу о производительности рабочих (технологических) машин», в 1952 — «Методы определения выпускной способности машин-автоматов», где автор уточнил классификацию машин-автоматов, исследовал принципы проектирования рабочих машин и закон движения рабочего звена.

В 1949 г. вышел из печати второй том «Методов анализа машин-автоматов» И. И. Артоболевского, С. И. Артоболевского, Г. А. Шаумяна, В. А. Юдина. Эта работа, посвященная исследованию структуры, кинематики и кинетостатики автоматов, явилась «отправным пунктом» для дальнейших исследований в этом направлении. В соавторстве с Костицыным и Раевским И. И. Артоболевский изучил возможности экспериментального исследования циклограмм автоматов (1950); в ряде статей 1952—1954 гг. он раз-

работал проблематику исследований в области теории машин автоматического действия.

Первые автоматические линии появились в конце 30-х годов. В 40-х и первой половине 50-х годов уже были созданы линии для обработки валов электродвигателей, цилиндрических и конических зубчатых колес, шлицевых валов, сделана попытка создать полностью автоматизированное предприятие по производству автомобильных поршней. Результаты внедрения автоматических линий были изучены и обобщены в работе А. П. Владзиевского (1951), однако многие вопросы теории машин-автоматов носили дискуссионный характер.

С. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ

Повысившийся интерес к проблемам реальных машин стимулировал развитие исследований кинематики и динамики технологических машин, которые координировались и направлялись отделом теории механизмов и машин Института машиноведения. В эти годы были изданы: «Механика швейных машин» С. Н. Кожевникова и М. М. Пруслина (1948), «Оборудование обувного производства» И. И. Капустина (1948), «Автоматы» Г. А. Шаумяна (1952) — о металлообрабатывающих станках-автоматах и др.

В 1951 г. вышел дополненный и переработанный учебник И. И. Артоболевского под названием «Теория механизмов и машин» (в 1953 г. переиздан), ставший самым распространенным руководством по теории механизмов и машин для механических и машиностроительных специальностей, конструкторских бюро, проектных и научно-исследовательских институтов. В 1947 г. И. И. Артоболевский совместно с В. А. Зиновьевым и Б. В. Эдельштейном издал «Сборник задач по теории механизмов и машин», который был переиздан в 1951 и 1955 гг. «Теория механизмов и машин» С. Н. Кожевникова вышла в четырех изданиях, с 1949 по 1973 г. В 1948—1952 гг. были изданы четыре части очень подробного и полного курса Н. И. Колчина «Механика машин», в 1957 г. вышла пятая часть. В соответствии с научными интересами автора в нем значительное место уделено теории кулачковых механизмов и зубчатых зацеплений.

Эти учебники и учебные пособия были написаны в соответствии с учебной программой. По-иному построена книга

В. В. Добровольского «Теория механизмов» (выпуски 1946, 1951, 1953 гг.), где классификация проводится по видам механизмов. В эти годы издаются также руководства к выполнению лабораторных работ, по курсовому проектированию и т. п. Таким образом, высшая техническая школа для своих механических и машиностроительных специальностей к середине 50-х годов имела полный комплект пособий. Иначе обстояло дело с учебниками для строительных, технологических и иных специальностей, где теория механизмов излагалась в сокращенном объеме. Почти единственным учебником такого рода была «Теория механизмов и машин» Л. Б. Левенсона, с конца 40-х годов кафедры вузов начали публиковать, в большинстве случаев отдельными выпусками, пособия, руководства и методические разработки, рассчитанные на внутреннее пользование. Только в 1955 г. было издано учебное пособие, написанное специально для немеханических специальностей, — «Теория механизмов и машин» В. А. Зиновьева.

Уже с конца 40-х годов намечается и постепенно увеличивается расхождение между учебными программами и научной проблематикой. В учебниках не освещались методы исследования машин в реальных условиях работы, не принимались во внимание упругие деформации звеньев при кинематическом и кинетостатическом исследовании, отсутствовали элементы теории пространственных механизмов и теории машин автоматического действия, при изложении методов исследования (например, расчета маховых масс) не всегда давалась сравнительная оценка результатов применения различных способов и т. п.

Не все институты имели лаборатории по теории механизмов, лабораторные занятия зачастую ограничивались повторением нескольких несложных задач, а лекции в лучшем случае сопровождались демонстрацией.

Как уже упоминалось, экспериментальной техникой пользовался еще В. П. Горячкин, но у него все измерения кинематических и динамических параметров основывались на принципах механики: применялись разного рода динамометры, динамографы, профилографы, тахометры, счетчики оборотов. Для развития экспериментальных методов в Институте машиноведения И. И. Артоболевский пригласил В. Т. Костицына и Н. П. Раевского. Раевский одним из первых в Советском Союзе начал разрабатывать методы регистрации процессов, основанные на электрических, магнитных, фотоэлектрических принципах, что открыло новую эру в экспериментальной динамике машин. Были созданы новые датчики и системы регистрации; с появлением электронных приборов измерений стало возможным изучение сложнейших процессов механики машин. Работы Н. П. Раевского явились основополагающими и оказали влияние на дальнейшее развитие экспериментальной техники как в Советском Союзе, так и за рубежом.

В 1954 г. Н. П. Раевский возглавил секцию семинара по экспериментальным методам исследования машин. Лаборатория экспериментальной динамики, которой он заведовал, стала центром, где получали консультацию работники научно-исследовательских институтов, преподаватели вузов, заводские инженеры и конструкторы. Здесь проходили стажировку специалисты, сотрудники лаборатории проводили исследования на предприятиях различных отраслей промышленности, на заводах и полигонах.

Н. П. РАЕВСКИЙ

В течение первого послевоенного десятилетия И. И. Артоболевский уделял много внимания вопросам истории науки. Отчасти это было связано с тем, что ему пришлось принимать участие в организации Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний, которое было учреждено в 1947 г., и первым его председателем был избран С. И. Вавилов, а Артоболевский — заместителем председателя. С той поры деятельность Ивана Ивановича неразрывно связана с работой в обществе «Знание».

В работах И. И. Артоболевского в области истории машиностроения и науки о машинах, выполненных на протяжении первого послевоенного десятилетия, прослеживается четыре основных направления: история русского и советского машиностроения, история русской и советской науки о машинах, очерки жизни и деятельности ученых-машиноведов, разработка научного наследия классиков науки, в частности комментирование их изданий.

Прослеживая становление и развитие советского машиностроения, его цели и задачи на разных этапах, Артоболевский одним из первых историков техники одновременно разрабатывает вопросы современности и прогнозирования. Огромна его роль как популяризатора науки. С большим мастерством и педагогическим тактом он вводит читателя в самую «кухню» современного машиностроения, показывая процесс создания машин и перспективы развития науки. Исторические очерки Артоболевского посвящены жизни и деятельности П. Л. Чебышева, Л. В. Ассура, Н. Е. Жуковского, В. П. Горячкина, В. В. Добровольского, Н. И. Мерцалова, Е. А. Чудакова, И. П. Кулибина,

Леонардо да Винчи и др. Комментированные издания сочинений П. Л. Чебышева и Л. В. Ассура, выполненные Артоболевским (частично в соавторстве), вошли в золотой фонд отечественной научно-исторической литературы как образцы изданий классиков; заново прочитанные и воспринятые, Чебышев и Ассур стали как бы современниками советских машиноведов.

Следует упомянуть также о методико-педагогической работе Артоболевского. Им были созданы программы почти для всех специальностей, которые изучают теорию механизмов и машин; кроме того, он написал работы: «Некоторые мысли о подготовке научных кадров» (1948), «О наглядности преподавания» (1950), «Учебник и научные школы» (1950) и др. Здесь, как и в других трудах, он выступает как ученый и как инженер — везде проводится мысль о необходимости взаимодействия теории с практикой.

Несмотря на предельную загрузку — научную деятельность, общественную работу, с годами в жизнь все больше входит увлечение литературой, музыкой, живописью. Впрочем, предоставим слово самому Ивану Ивановичу:

«...Теперь, возвращаясь к прошлому, я задаю вопрос, а кто же заложил во мне этот интерес к искусству и людям, творящим его? В первую очередь этим я обязан моему отцу, который привил мне вкус к чтению, ознакомил меня с лучшими произведениями корифеев мировой и русской литературы, развил у меня стремление изучать историю культуры человечества. Громадное влияние оказали на меня А. В. Луначарский и все его окружающие. Его блестящие характеристики деятелей искусства, детальные разборы отдельных художественных произведений, тонкий критический ум, редкое понимание сложных человеческих ситуаций — все это имело исключительное воспитательное значение для меня, развивало мой художественный вкус, чувство понимания значения искусства в жизни человека и его роли в построении нового общества. Немалым я обязан и моей жене Ольге Николаевне, которая так много сделала для воспитания во мне музыкального вкуса и была всегда моим товарищем и помощником».

Среди знакомых Ивана Ивановича были И. М. Москвин и С. М. Эйзенштейн, Б. Н. Ливанов и Н. И. Дорохин, И. Н. Берсенев и С. В. Гиацинтова. Длительная дружба связывает его с Козловским. «Впервые встретил его я у Луначарских. Тогда он был скромным и тихим «хохлачком», которого вы могли не заметить, но это только пока он молчал. Но вот он начинал петь, и все преображалось. Его голос не походил ни на одного из известных мне теноров, а я слышал даже Собинова и Смирнова. Я до сих пор не могу без волнения слушать Ивана Семеновича, люблю его голос, манеру исполнения, я люблю его и как настоящего человека, большого гуманиста, хорошо понимающего, что самое страшное в судьбе артиста — это замкнуться

в своем творчестве, не оплодотворяясь ничем, что можно получить от других...»

В 30-х годах Иван Иванович познакомился с Д. Д. Шостаковичем. Вот как он об этом вспоминает: «Было это в 1934 или 1935 г. И он, и я оба мы были молоды и примерно одного и того же возраста. Но мне он казался почти мальчиком... был молчалив, сосредоточен и как бы замкнут в самом себе... Уже тогда он был известным композитором, произведения которого исполнялись лучшими симфоническими оркестрами, музыкантами и певцами. Но, несмотря на известность и широкое признание, был очень прост в обращении. Я слышал в его исполнении многие произведения, ставшие потом классическими».

Увлечение искусством и архитектурой началось с коллекционирования книг по искусству, а затем и картин: «В первоначальный период моего увлечения картинами я предпочитал живопись художников XIX и начала XX в. Это были в основном передвижники и более ранние мастера.

Я не покупал больших полотен, думаю, что это и ни к чему, но небольшие картины и эскизы, в количестве около сорока, у меня есть. По-видимому, я не принадлежу к «сословию» коллекционеров: за всю жизнь я не продал и не обменял ни одной картины — я просто любитель живописи, графики и рисунка. Покупая произведение того или иного художника, я начинал изучать все, что о нем было написано: его биографию, его воспоминания или мемуары о нем, каталоги выставок, из которых можно узнать, когда и где экспонировались произведения данного художника...

Мне доставляет громадное удовольствие иногда просто перелистать ту или иную монографию или альбом, пересмотреть репродукции картин, вспомнить, в каких музеях я их видел. Чтение книг по искусству познакомило меня с творениями корифеев мирового искусства. Среди них есть и особенно любимые: Дюрер, Леонардо да Винчи, Гольбах, Рембрандт, Рубенс, Веласкес, но особенно я люблю Греко, Гойю и несравненных импрессионистов. Эту школу я знаю неплохо, так как объездил весь мир и имел счастье познакомиться с лучшими полотнами импрессионистов. Да и у нас в Советском Союзе они прекрасно представлены. Я прочитал уйму книг по истории французской живописи конца XVIII в., и если я люблю Давида, Делакруа, то люблю их спокойно, а при виде полотен импрессионистов не могу оставаться спокойным. Они волнуют меня, вводят в мир чего-то очень хорошего, они являют собой все прекрасное, что может создать человек, талантливо владеющий кистью. Долгое время я относился спокойно к постимпрессионистам, а сейчас люблю их все больше и больше. Мне нравятся Матисс, Ван Гог, Пикассо.

Мое «полевение» в отношении к импрессионистам перекочевало и в русскую живопись. Мне стали нравиться представи-

тели «Мира искусства», «Бубнового валета». Я восхищаюсь картинами Серова, Добужинского, Мусатова, Бенуа, работами Фалька, Кандинского, Шагала. Из современных советских художников я люблю Рылова, Нисского, Ефанова (он, кстати, написал и мой портрет), конечно, Корина, некоторые картины Пластова, ранние работы Глазунова. ...Я очень больно переживаю то, что у меня все меньше остается времени для чтения. С чувством глубокого сожаления закрываю книгу, так как смог только перелистать ее, а не внимательно прочитать. Я все время куда-то тороплюсь. Мне хочется как можно больше сделать в науке в содружестве с моими учениками...»

Ученики появились у Артоболевского в начале 30-х годов. С организацией семинара число их неуклонно растет, а в первом послевоенном десятилетии появились уже и ученики учеников. К середине 50-х годов из числа прямых учеников около 40 уже защитили докторские и кандидатские диссертации. Существенно, что в их работах были охвачены все направления современной науки о машинах. Распространение влияния школы по всему Союзу, рост и развитие семинара и его филиалов способствовали привлечению к исследованию проблем теории механизмов и машин все большего числа лиц. В связи с этим возникла задача объединения усилий исследователей вокруг важнейших проблем, устранения параллелизма в работе и установления более тесной связи между специалистами. Важное значение имели также вопросы преподавания в области механики машин и подготовки специалистов.

Было решено провести всесоюзное совещание по проблемам теории машин и механизмов. В Первом всесоюзном совещании, состоявшемся в июне 1954 г., приняли участие свыше 350 человек, представлявших 120 организаций (научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения, конструкторские бюро, заводы и др.), и было прочитано восемь докладов, подготовленных И. И. Артоболевским, В. И. Дикушиным и А. П. Владзиевским, И. Ф. Василенко, В. Т. Костицыным, С. Н. Кожевниковым, Н. Г. Домбровским, А. П. Малышевым, Н. Н. Тресвятским.

В докладе «Современное состояние теории машин и ее ближайшие задачи» И. И. Артоболевский определил теорию машин как науку, изучающую механику машин во взаимосвязи с выполняемыми рабочими процессами; задача ее заключается в том, чтобы создавать машины, обеспечивающие выполнение рабочего процесса с высокой эффективностью и минимальным расходом энергии при максимальном облегчении труда рабочего. Основными проблемами теории машин являются теория рабочих процессов, механика машин (кинематика и динамика), теория построения машин автоматического действия. Таким образом, впервые было высказано мнение, что задачи теории машин значительно шире задач механики машин: тем самым перекинут мост от схематизированных машин к реальным.

И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ
(1960 г.)

Докладчик указал, что конечным результатом изучения того или иного рабочего процесса должно быть получение данных, необходимых и достаточных для кинематического и динамического исследования машины или проектирования ее кинематической схемы. При этом, в зависимости от принципиальной структуры машины, возникают некоторые задачи, например установление оптимального закона движения рабочего органа, обеспечивающего наиболее эффективную технологию процесса, исследование геометрии рабочего органа, изучение механических характеристик, изучение взаимосвязи геометрии рабочих поверхностей и закона их движения с режимами технологических процессов. Он отметил далее, что для большинства машин еще нет достаточных сведений о выполняемых ими рабочих процессах. Очень слабо изучены рабочие процессы сельскохозяйственных машин, землеройных и дорожных, хотя основы теории их рабочих процессов были заложены еще Горячкиным, машин, применяющихся в горной, металлургической, силикатной, строительной и многих других отраслях промышленности.

Еще одна проблема, отмеченная И. И. Артоболевским, касалась механики машин, т. е. изучения их кинематики и динамики.

Вопросы кинематики машин-двигателей разрабатывались сперва применительно к простейшим четырехзвенным механизмам, для которых созданы были графические и аналитические методы кинематического анализа. Развитие транспортных паровых машин заставило обратить внимание на более сложные многозвенные механизмы с низшими парами, в основном применительно к механизмам парораспределения паровозов. Учитывая широкое использование в механизмах распределения двигателей внутреннего сгорания кулачковых механизмов, начали развиваться методы их кинематического исследования и проектирования. Достаточно полно была изучена также кинематика редукторов.

С внедрением в промышленность различных рабочих машин со сложными кинематическими схемами возникла необходимость развития методов исследования многозвенных механизмов, в состав которых входят как высшие, так и низшие кинематические пары.

Внедрение машин-автоматов с большим числом кулачковых приводов явилось толчком к равитию вопросов кинематического исследования кулачковых механизмов, профили кулачков которых очерчены сложными кривыми линиями. Существенное внимание уделялось также механизмам машин-автоматов, применяемым для воспроизведения особых видов движения: прерывистых, движений с остановками и т. п. Была разработана кинематика шарнирно-рычажных механизмов с остановками, механизмов мальтийских крестов, звездчатых, винтовых применительно к осуществлению движения подачи. Разрабатывается кинематика храповых, анкерных и других механизмов применительно не только к механизмам машин-автоматов, но и к различным типам приборов. Развиты методы исследования сложных зубчатых передач, как плоских, так и пространственных, редукторов, вариаторов. Развиты методы исследования простейших пространственных механизмов с низшими и высшими кинематическими парами.

Вопросы динамики машин особенно полно рассмотрены применительно к машинам-двигателям. Для этих машин разработаны методы силового анализа, в первую очередь учет массовых сил и их влияние на отдельные элементы механизмов, методы уравновешивания массовых сил применительно к многоцилиндровым двигателям, методы балансировки быстро вращающихся деталей, различные точные и приближенные методы расчета маховых масс двигателей, исследована неравномерность их хода и изучены методы их регулирования.

Докладчик отнес к числу наиболее актуальных задач механики машин следующие: учет сил упругости звеньев механизмов; влияние зазоров в кинематических парах на действительную кинематику и динамику машин; изучение соударений элементов кинематических цепей в результате динамических нагрузок; экспериментальное изучение сухого и гидродинамического трения

применительно к различным узлам механизмов; динамическая (по существу) задача исследования механизмов с гидравлическими и пневматическими устройствами; комплексная методика расчета механизмов, имеющих в своем составе электрические и электронные устройства; экспериментальное определение всех сил, действующих на механизм, как основание для уточненного кинетостатического исследования; экспериментальная оценка по КПД различных типов исполнительных механизмов; изучение теории регулирования и режима движения рабочих машин, истинного движения машинного агрегата, динамики машин с учетом переменной массы, исследование механизмов с неголономными связями; теоретическое и экспериментальное исследование динамики машинных агрегатов при силах и массах, зависящих от кинематических параметров; изучение неустановившихся режимов движения машинных агрегатов; разработка теории уравновешивания неуравновешенных масс в рабочих машинах различных типов; разработка теории точности механизмов.

В области теории построения машин автоматического действия, как указал И. И. Артоболевский, основной является задача создания автоматически действующей машины, обеспечивающей высокое качество заданного технологического процесса, максимальную производительность при минимальном расходе энергии и максимальное облегчение труда рабочего. Из этой задачи вытекают и те основные научные проблемы, которые должны быть поставлены перед специалистами в области теории машин-автоматов, в первую очередь — создание методов расчета производительности и эффективности машин-автоматов и развитие методов проектирования кинематических схем их механизмов.

В связи с этим необходимо создать классификацию рабочих машин, изучить энергетический баланс машин-автоматов, энергоемкость машинных агрегатов; развить теорию циклограмм, разработать классификацию механизмов по функциональному признаку, кинематику и динамику механизмов, характерных для машин-автоматов. В ближайшие годы важную роль в управлении машинными агрегатами и в работе машин-автоматов будут иметь счетно-решающие устройства. На очередь встали вопросы «программирования» рабочего процесса, т. е. создания системы механизмов, управляющих технологическим процессом и обеспечивающих данную программу обработки и ее контроль. Было указано также на то, что в науке о машинах образовался разрыв между теорией и потребностями практики, который следует устранить.

Докладчик отметил также недостаточное внимание специалистов в области механики машин к работам классиков отечественной науки и исследованиям зарубежных ученых.

Другие доклады, прочитанные на совещании, были посвящены проблемам теории механизмов и машин применительно к ряду направлений машиностроения.

В докладе В. И. Дикушина и А. П. Владзиевского «Некоторые вопросы теории машин и механизмов в области станкостроения» были указаны проблемы, разработка которых важна для станкостроения и некоторых других областей. В частности, проблема производительности труда и разработка объективных критериев для сравнения и оценки совершенства конструкции станка как рабочей машины; вопросы выбора системы привода для главного и вспомогательных движений станков; разработка теории размерных цепей с учетом отклонений вследствие износа, тепловых воздействий, сложного взаимодействия сил резания, структурных изменений в обрабатываемом металле и т. п.; изучение вопросов предотвращения и гашения вибраций; разработка теории и средств балансировки нежестких роторов и автобалансировки; изучение явления удара в машинах; развитие теории гидродинамического трения в применении к конкретным механизмам станкостроения; развитие теории трения качения; теория проектирования механических, гидравлических и электрических следящих систем копировальных устройств; разработка проблемы точности линейных и угловых перемещений механизмов и ряд других.

Авторы указали на целую группу механизмов, исследование которых вышало из поля зрения специалистов, например различные механизмы с упругими передающими элементами и целая область механизмов питания штучными заготовками станков-автоматов и автоматических линий.

И. Ф. Василенко в докладе «Проблемы теории машин и механизмов в области механизации сельского хозяйства» указал на сложность проблем механизации сельского хозяйства. Например, процесс пахоты оказывается значительно сложнее процесса обработки металлов резанием, так как металлическая стружка — это отход, а «стружка» почвы, ее структура, степень рыхления и способ укладки на дно борозды представляют собой дополнительную весьма сложную агробиологическую и инженерную задачу. Обмолот зерновых культур значительно сложнее процесса дробления руды, так как при обмолоте нужно разрушить колос и не повредить зерно. Сортировка зерна не менее сложна, чем сепарация цветных и редких металлов. В технологических процессах, осуществляемых сельскохозяйственными машинами, важное значение также имеет биологический фактор: так, например, зерно, обработанное машинами, не должно терять всхожести, при уборке хлопка нельзя нарушить жизнеспособность растения и т. п.

Большое значение имеет также энергетическая проблема, поиск новых технологических принципов, задача автоматизации сельскохозяйственных машин. Есть и задачи, относящиеся к общей теории машин и механизмов. Одной из них является приложение приближенного синтеза механизмов к созданию различных механизмов сельскохозяйственных машин.

В докладе В. Т. Костицына «Оновные проблемы теории машин текстильной, легкой и пищевой промышленности» были рассмотрены специальные вопросы развития механики этих машин. Характерной особенностью текстильных машин является незначительная величина сил, воспринимаемых волокнистым материалом, при сравнительно больших нагрузках передаточных звеньев механизмов, обусловленных значительными массами и переменными скоростями. Инерционные силы в передаточных звеньях, во много раз превосходящие полезные нагрузки, вызываемые технологическим процессом, заставляют рассматривать основные задачи текстильных машин как задачи их динамики.

Специфические задачи машин легкой промышленности — обувных, трикотажных, кожевенных, швейных — сводятся главным образом к проблемам синтеза механизмов и проблемам автоматизации. Для обувных машин важной является разработка теории взаимодействия механизмов с жесткими звеньями и деформирующихся материалов, а также создание теории резания кожи и ее заменителей. Для швейных и трикотажных машин важна механика процесса петлеобразования. Одним из основных вопросов машин кожевенной промышленности является процесс прокатки упруго-пластических материалов, теория которого разработана недостаточно. Проблематика машин пищевой промышленности также весьма разнородна, так как очень разнообразны технологические процессы; сюда относятся, например, разработка динамики сыпучей среды, исследование механики перемешивания, прессования и транспортировки материалов с разными физико-механическими свойствами, исследование процесса продавливания, автоматизация упаковочных операций.

С. Н. Кожевников в своем докладе остановился на основных проблемах теории металлургических машин и оборудования, указав, что их особенностью являются значительные нагрузки, воспринимаемые звеньями механизмов и достигающие иногда нескольких сот тонн, высокая температура и абразивность среды, напряженный темп работы, большая неравномерность нагрузки механизмов и крупные размеры машин.

Он кроме того отметил, что основными проблемами при расчете и проектировании тяжелого металлургического и горного оборудования, а также строительных машин являются проблемы их динамики. Важное значение имеет определение нагрузок при неустановившихся режимах, которые являются нормальными для большинства тяжелых машин. Исследование динамики машин следует производить в реальных условиях их работы. Следует добавить, что технологические нагрузки, возникающие в процессе работы технологических машин, трудно определить теоретически и в большинстве случаев единственным способом определения является экспериментальный.

Обычно в теории механизмов рассматриваются вопросы динамики механизмов с жесткими неизменяемыми звеньями, меха-

низмам же с упругими связями уделяется мало внимания. Между тем в практике используются механизмы, в которых специально предусмотрены упругие звенья или же некоторые звенья механизмов конструктивно имеют малую жесткость и закон движения, определенный без учета деформаций, отличается от действительного. Так как механизмы с упругими звеньями (а они встречаются не только в металлургических и горных, но и в текстильных машинах) зачастую могут оказаться более выгодными по сравнению с механизмами, звенья которых обладают жесткостью, следует поставить вопрос о систематическом изучении их и о возможности использования в качестве исполнительных механизмов.

Наконец, в области теории пневматических механизмов необходимо разрешить ряд проблем: исследовать термодинамические процессы, протекающие в автоматически действующих пневматических механизмах; разработать методы торможения поршня в крайних положениях; провести исследование предохранительной, управляющей и регулирующей аппаратуры с точки зрения потерь давления, времени срабатывания и некоторых других параметров.

Н. Г. Домбровский доложил об основных задачах в области теории и расчета строительных машин, указав, что конструктивное совершенство последних можно оценить с помощью таких основных показателей: производительность труда при работе с машиной; общий КПД машины; удельная производительность машины, отнесенная к единице ее веса и расходуемой энергии; удельная стоимость машины, отнесенная к вырабатываемой ею продукции. Он указал также на большую разнородность машин в зависимости от их технологического назначения, а также на то, что переходу к полной механизации, а тем более к автоматизации (т. е. непрерывному процессу) мешает прерывная технология, подчеркнул рациональность комплексного теоретико-экспериментального исследования машин.

Доклад Н. Н. Тресвятского был посвящен задачам в области теории машин и механизмов, возникающим при проектировании и расчетах счетных машин (цифровых машин и их механизмов с ручным вводом исходных данных, т. е. клавишных и счетно-перфорационных электромеханических машин, основанных на применении перфокарт). Докладчик указал важнейшие задачи в области кинематики, динамики и экспериментального исследования этих машин. Важное значение здесь имеет автоматизация процессов умножения и деления, а также передачи чисел из одних устройств в другие. Сложные задачи возникают и в динамике счетных машин.

Доклад А. П. Малышева был посвящен подготовке кадров специалистов в области теории машин и механизмов, также аспирантов. В ряде выступлений были подвергнуты критике и проанализированы отдельные положения, выдвинутые докладчиками.

В заключительном слове И. И. Артоболевский отметил, что задача Совещания — увязка теории машин и механизмов с задачами машиностроения — в определенной степени выполнена. Правильными являются предложения об укреплении экспериментальной базы для проведения крупных теоретических исследований. Необходима бо́льшая связь кафедр теории механизмов и машин с научно-исследовательскими институтами промышленности и конструкторскими бюро.

В решении Совещания была отмечена необходимость создания теории рабочих процессов, дальнейшего развития теории рабочих машин, особенно машин-автоматов, и дальнейшей разработки теории и методов расчета и проектирования механизмов, приборов и систем управления, регулирования и контроля технологического процесса.

*

С началом современной научно-технической революции, одной из характерных черт которой, в частности, является совершенствование орудий производства — комплексная автоматизация основных производственных процессов, механизация тяжелых и трудоемких работ, — меняется и основное понятие теории механизмов и машин. Возникают агрегаты контроля и управления, логические и кибернетические, которые входят в состав комплексных машинных систем или работают самостоятельно. Наряду с технологическими процессами, основанными на «классических» видах энергии, развиваются и получают важное значение процессы, основанные на использовании ядерной энергии. В развитии теории механизмов и машин наблюдается резкое повышение интереса к динамике машин, к изучению машин с учетом реальных условий их работы и к экспериментальным методам их исследования.

Так, основные направления творчества И. И. Артоболевского (как отметил В. И. Дикушин в докладе по случаю 50-летия со дня рождения и 30-летия научной и педагогической деятельности Ивана Ивановича) оказались непосредственно связаны с важными задачами научно-технической революции — изучение проблем динамики систем с большим числом степеней свободы применительно к механизмам с упругими элементами, к системам регулирования и к вибрационным системам, движение которых определяется из чисто динамических условий, и теория систем управления технологическими процессами. Эти направления требовали большой экспериментальной работы, применения электронно-вычислительной техники, т. е. принципиально новых лабораторий и нового оборудования; оба они имели непосредственную связь с практикой и выходы в промышленность.

В докладе, приуроченном к 20-летию работы семинара по теории механизмов и машин (в 1956 г.), И. И. Артоболевский,

охарактеризовав семинар как одну из форм организации научных исследований, подчеркнул, что «...ближайшие его задачи непосредственно вытекают из директив XX съезда КПСС по шестому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1956—1960 гг. В разделе директив, посвященном задачам в области машиностроения, указано, что необходимо «широко развернуть научно-исследовательские, конструкторские и опытные работы по созданию в короткие сроки новых конструкций высокопроизводительных машин».

Вот основная задача для ученых и инженеров, работающих в области машиностроения, и естественно, что специалисты в области теории машин и механизмов должны помочь конструкторам и инженерам быстрее решать задачи создания новых конструкций машин. Для этого необходимо шире и глубже развивать вопросы теории машин, связанные с созданием новых высокопроизводительных машин.

В директивах также указывается: «Обеспечить промышленность необходимыми средствами механизации и автоматизации и приборами; серьезно улучшить использование имеющегося оборудования и механизмов». Это относится к разделу механизации и автоматизации производственных процессов. Здесь также очень большое поле деятельности для специалистов в области теории машин и механизмов.

Только в том случае мы сможем действительно рационально и быстро проектировать и конструировать машины, если будем развивать теорию машин и механизмов в тесной связи с практикой нашего советского машиностроения.

Мне кажется, что основными направлениями, основными вопросами в области теории машин и механизмов, которыми необходимо заниматься в шестой пятилетке, будут вопросы развития теории технологических процессов для получения и обоснования исходных механических характеристик выполняющих эти процессы машин и механизмов; вопросы, связанные с развитием методов анализа и синтеза механизмов и машин, и, наконец, вопросы теории автоматического управления машинами, включая теорию самонастраивающихся систем управления.

Развитие теории рабочих процессов должно вестись в направлении установления основных зависимостей между механикой машины и физическими свойствами обрабатываемых объектов и сред.

При решении задач синтеза механизмов особое внимание надо обратить на вопросы развития теории новых типов механизмов, имеющих в своем составе не только механические, но и гидравлические, пневматические, электрические и электронные устройства...

Важное место в развитии теории машин должны занять вопросы динамики машин. Широкое развитие должны получить вопросы, связанные с методами силового расчета механизмов как

в части теории, так и экспериментальной динамики. Далее идут вопросы динамики машин, связанные с учетом упругости всей системы и изучением влияния зазоров в кинематических парах на динамику механизмов. Важное место должны занять вопросы, связанные с изучением режима работы машин и с теорией регулирования этих режимов. Необходимо разрабатывать вопросы теории динамических систем с несколькими степенями свободы применительно к различным типам машин и механизмов. Важнейшее значение в развитии динамики механизмов будут иметь вопросы динамики тех машин, в которых массы обрабатываемого продукта переменны, а также вопросы, связанные с созданием теории устройств, обеспечивающих автоматическое управление и контроль за технологическими процессами, выполняемыми машинами» [1].

По инициативе И. И. Артоболевского были организованы филиалы семинара в крупных промышленно-научных центрах, в частности в Киеве и Свердловске. Уже к 1956 г. актив семинара и его филиалов был довольно значительным: приблизительно 170 человек в Москве и 240 в Ленинграде, Харькове, Днепропетровске, Тбилиси. В сущности это было ядро школы — большие группы специалистов из многих городов Союза по той или иной причине не принимали участия в заседаниях семинара и его филиалов, но работали по его тематике.

В каждом филиале семинара уже к середине 50-х годов выработалась своя специфическая тематика. В Ленинграде это была главным образом кинематика — теория пространственных механизмов, теория шарнирных механизмов и теория зубчатых зацеплений. Основная тематика харьковского филиала относилась к динамике машин, при этом значительная часть исследований была выполнена на базе производства. Днепропетровский филиал занимался некоторыми вопросами теории привода (кулачковые и зубчатые механизмы) и фундаментальными вопросами теории тяжелых металлургических и горных машин в реальных условиях их работы. Тбилисский филиал работал в двух основных направлениях: автоматизация производственных процессов, свойственных специфике развития народного хозяйства Грузии, и решение некоторых задач кинематики шарнирных механизмов.

В 50-е годы в области анализа механизмов было выполнено не много работ. Существенное значение имело дальнейшее развитие классического наследия О. И. Сомова, П. О. Сомова и Л. Бурместера в области теории ускорений высших порядков.

Синтез плоских механизмов разрабатывался в нескольких направлениях. Новые результаты дало развитие идей П. Л. Чебы-

---

[1] *И. И. Артоболевский.* Двадцать лет работы семинара по теории машин и механизмов. — В кн.: Семинар по ТММ, т. XVII, вып. 65. М., 1957, стр. 14—15.

шева: были предложены алгебраические методы решения задач приближенного воспроизведения заданных законов движения. В работах Н. И. Левитского и С. А. Черкудинова и Н. В. Сперанского рассмотрены некоторые конкретные задачи синтеза четырехзвенных механизмов и некоторые вопросы рационального выбора узлов интерполирования. Л. С. Грозенская исследовала задачу синтеза шестизвенного механизма с остановкой, применив метод графиков зависимости метрических параметров механизма от параметров заданных законов движения. А. Т. Газаров исследовал задачу проектирования четырехзвенных механизмов с заданными узлами передачи. А. И. Ясюленис использовал для воспроизведения заданной траектории вспомогательный механизм с двумя степенями свободы.

В области теории точных направляющих механизмов работал И. И. Артоболевский.

Теория пространственных механизмов в это время начала использовать методы винтового исчисления; в этом направлении работали С. Г. Кислицын, Ю. Ф. Морошкин и Ф. М. Диментберг. Важнейшим в их исследованиях был в сущности поиск математической постановки задачи определения положений звеньев механизма, поскольку, как это показал В. А. Зиновьев, от нее зависит решение задачи определения скоростей и ускорений. С. Г. Кислицын развил аналитический метод винтовых аффиноров и решил с его помощью ряд задач по определению положений звеньев пространственных механизмов.

В области синтеза пространственных механизмов с низшими парами Н. И. Левитский и К. Х. Шахбазян разработали определение параметров четырехзвенных пространственных механизмов при заданных углах поворота ведущего и ведомого звеньев с использованием интерполяционных методов.

В области теории передаточных механизмов наиболее важные работы были выполнены по кулачковым механизмам и зубчатым зацеплениям. В трудах Н. И. Левитского, С. Н. Кожевникова, В. А. Зиновьева, К. В. Тира, Л. Н. Решетова кулачковые механизмы исследовались с самых разных сторон, произведена их оценка с точки зрения наиболее рационального воспроизведения требуемых законов движения, выяснено определение оптимальных параметров с учетом угла передачи. В связи с повышением интереса к машинам автоматического действия появились исследования пространственных кулачковых механизмов (работы Л. П. Рифтина, Т. Н. Гендзехадзе).

Еще в довоенные годы появилось несколько работ по теории мальтийских механизмов. Эти механизмы, относящиеся к группе механизмов с остановками, оказались очень важными при проектировании металлорежущих станков и разнообразных машин-автоматов, в частности в устройствах автоматической подачи, в поворотно-фиксирующих устройствах различных упаковочных автоматов, в области кинотехники. Наибольшее значение полу-

чили плоские радиальные мальтийские механизмы с безударным зацеплением, однако распространение имеют и иные схемы, в частности механизмы, в которых ведущая цевка движется неравномерно по окружности или по какой-либо иной кривой. В конце 30-х годов мальтийские механизмы исследовали Н. Э. Беккер, И. П. Варенцов, в послевоенные годы — И. И. Артоболевский, Ю. Н. Герасимов (1948), Л. Н. Решетов (1950); динамику мальтийских механизмов изучал Е. Г. Нахапетян (1953), теории комбинированного механизма мальтийского креста с планетарным зубчатым приводом была посвящена работа С. А. Черкудинова и Н. В. Сперанского (1956); теорию механизма мальтийского креста с приводом от эллиптических зубчатых колес изучил Н. В. Сперанский.

Ф. Л. ЛИТВИН

Важным достижением в области теории зубчатых зацеплений была работа М. Л. Новикова. В 1955 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Основные вопросы геометрической теории точечного зацепления, предназначенного для зубчатых передач большой мощности (так называемое зацепление Новикова)». В последующие годы исследование этого нового неэвольвентного зацепления проводилось многими учеными.

В. А. Гавриленко работал над созданием классификации современных зубчатых передач и соответствующей терминологии. По составленной им таблице можно ознакомиться как с осуществленными зубчатыми передачами, так и неосуществленными, но которые можно в принципе осуществить.

Общую теорию пространственных зацеплений на базе винтового исчисления и теории матриц развил Ф. Л. Литвин. В 1954 г. он дал в аналитической форме теорию червячного зацепления, имеющего переменное передаточное отношение и переменное межосевое расстояние, в 1956 г. в монографии «Некруглые зубчатые колеса» изложил вопросы геометрии и синтеза некруглых колес, а также методы их производства и контроля их точности.

Н. И. Колчин разработал (в 1955 и в 1957 гг.) инженерные графики для определения коэффициентов перекрытия эвольвентных зацеплений и аналитические основы дифференциального метода исследования зубчатых зацеплений.

В ряде работ были исследованы дифференциальные и планетарные зубчатые механизмы. Кинематику и статику дифференциальных и планетарных передач исследовал Р. М. Брумберг (1956), Т. С. Жегалова уточнила вопрос об определении их КПД (1957), М. В. Семенов изучил геометрию кривых, описываемых различными точками сателлитов планетарных механизмов (1956), в монографии В. Н. Кудрявцева «Зубчатые передачи» (1957) были сведены данные по теории и расчету плоских зубчатых передач.

Были также выполнены работы по другим видам передаточных механизмов: гибким передачам, вариаторам, фрикционным передачам и т. п. Особенно большое внимание в середине 50-х годов начали уделять теории гидравлических и пневматических механизмов в связи с их широким применением в современных машинах автоматического действия, автоматических линиях, в приспособлениях для механизации трудоемких и тяжелых процессов.

В работе Е. В. Герц (1955) были решены некоторые вопросы структуры и классификации пневматических устройств. Автор подразделяет пневматические механизмы на две группы по способу соединения пневмоустройств — воздуховодами и при помощи воздуховодов и механических передач.

Общий обзор механизмов с пневматическими устройствами, областей их применения, теории и методов расчета дан в монографии Б. Н. Бежанова «Пневматические механизмы» (1957). В работе И. И. Артоболевского, Е. В. Герц, А. Е. Кобринского и Н. П. Раевского исследуются быстродействующие пневматические устройства. В ряде работ Е. В. Герц, частично при участии А. Е. Кобринского, изучены методы статического и динамического расчета пневматических устройств поршневого и мембранного типа. В. В. Бердников в работах 1955 и 1956 гг. рассмотрел общие уравнения динамики поршневых устройств, исследовал характер переходных процессов и установившегося режима движения пневматических приводов металлообрабатывающих станков.

Теории гидравлического привода были посвящены исследования С. Н. Кожевникова, Е. А. Цухановой, Е. М. Хаймовича. В этих работах даны уравнения поршня гидравлического исполнительного механизма, частные решения этих уравнений и их экспериментальная проверка. Некоторые работы посвящены вопросам расчета гидравлического и пневматического приводов. Значительная часть исследований в этом направлении выполнялась на примере механизмов металлообрабатывающих станков и автоматов.

В области кинетостатики механизмов Л. Г. Овакимян предложил метод кинетостатического расчета пространственных механизмов путем использования построения рычага Жуковского, преобразованного из пространства на плоскость.

Исследования по динамике машин проводились как в классических направлениях — исследования дифференциального уравнения движения, расчет маховых масс, уравновешивание вращающихся масс, так и в новых — динамика механизмов с упругими связями, колебательные процессы в машинах.

Е. В. ГЕРЦ

Ряд работ был посвящен исследованиям режима движения машины при силах, зависящих от положений и от скорости звена приведения. В этом направлении работали В. П. Казаков, Ф. Л. Литвин, М. В. Семенов, Н. И. Колчин; С. Г. Кислицын предложил и развил методы последовательных приближений для решения уравнений движения машины при силах, зависящих от положения и скорости звена приведения, и на их основе показал возможность уточненного метода расчета маховых масс (1955). М. И. Бать предложил метод расчета маховика для случая сил, зависящих от положения и от скорости звена приведения (1954).

Изучение реальных процессов в машинах повлекло за собой повышение интереса к переходным процессам и к теории механизмов с упругими звеньями и упругими связями. В этом направлении работал А. Н. Голубенцев применительно главным образом к теории горных машин. Его работы «Уравнение динамики машин с учетом упругости их элементов» (1956), «Динамика переходных процессов в подъемной машине» (1957) и некоторые другие внесли существенный вклад в исследование динамики рабочих машин. Общие вопросы динамики машин с упругими связями, работающих при наличии зазоров, были освещены в серии работ А. Е. Кобринского, завершенной в 1956 г. Он рассмотрел также вопросы, связанные с ударным виброгашением (1957).

Одной из важнейших была теория вибрационных процессов в машинах. Вибраторы различных типов применяются для укладки и уплотнения бетона в строительных конструкциях, для забивки свай и шпунтов. А. П. Бессонов и В. О. Кононенко изучали теорию вибраторов центробежного типа с двумя степенями свободы при различных динамических характеристиках и условиях. Вынужденные колебания вибромашин со многими вибраторами изучали И. И. Блехман и Г. Ю. Джанелидзе (1958).

В октябре 1956 г. на сессии Академии наук СССР по научным проблемам автоматизации производства И. И. Артоболевский определил разделы науки о механизмах и машинах, имеющие особое значение в разработке научных основ механизации и автоматизации технологических процессов и, в частности, в создании новых видов машин-автоматов. Это — механика типовых технологических процессов, выполняемых автоматами, теория их производительности, методы расчета и проектирования машин-автоматов. Он указал, что важное место в структуре машин-автоматов в ближайшие годы займут счетно-решающие устройства, широкое применение в машинах такого типа должны также найти механизмы с электрическими и электронными устройствами.

В работах С. И. Артоболевского этого периода (1955—1957) были развиты вопросы классификации технологических машин и теория их производительности. В 1955 г. вторым изданием вышла монография Г. А. Шаумяна «Автоматы». В 50-х годах в Советском Союзе и за границей широкое внедрение получили новые системы автоматизации, известные под названием систем программного, цифрового или электронного управления. Начались работы по синтезу таких систем, их теории и теории программирования тех технологических процессов, для выполнения которых они создавались. Было создано несколько типов подобных систем: так называемые замкнутые системы цифрового управления станками, преобразующие сигналы-программы и сигналы, поступающие из цепи обратной связи, в непрерывное относительное движение инструмента и заготовки, а также разомкнутые системы. В 1955 г. был испытан макет так называемой шаговой (разомкнутой) системы программного (цифрового) управления, разработанной еще в 1950 г. М. Г. Брейдо, А. Е. Кобринским и В. К. Бесстрашновым и в дальнейшем получившей широкое промышленное внедрение в различных системах автоматизации.

В некоторых работах была показана связь, существующая между проблемами общей теории механизмов и машин и проблемами теории машин автоматического действия. Так, в книге Н. И. Левитского и С. А. Черкудинова «Современные направления в развитии теории синтеза механизмов машин-автоматов и автоматических линий» (1957) освещены современные методы синтеза механизмов и их роль в развитии теории машин-автоматов.

Нужно сказать, что в эти годы много работ в области теории механизмов и машин появилось и за рубежом. Разрабатывались примерно те же направления, что и в СССР, однако нигде не было такого организующего центра, каким стал у нас в стране семинар по теории механизмов.

В марте 1958 г. в Москве собралось Второе всесоюзное совещание по основным проблемам теории механизмов и машин, чтобы подвести итоги проделанной работы и наметить пути дальнейшего развития.

На совещание собралось свыше 800 участников, и было подготовлено много докладов и сообщений, поэтому на пленарные заседания вынесли основные доклады, а вся работа проводилась в следующих секциях: анализа и синтеза механизмов, динамики машин, теории точности в машиностроении и приборостроении, теории машин автоматического действия, теории передач в машинах.

В докладе «Современное состояние теории машин и механизмов», которым было открыто совещание, И. И. Артоболевский рассказал об основных исследованиях в области механики машин, выполненных в Советском Союзе и за рубежом во второй половине 50-х годов. Остановившись на проблеме «стыковки» наук, в частности между теорией механизмов и машин и кибернетикой, он указал на работу по созданию биоэлектрической системы управления, выполненную коллективом ученых под руководством А. Е. Кобринского. Эта система дает возможность управлять приборами и устройствами, используя биотоки мышц, и представляет интерес как для техников, так и для физиологов, изучающих деятельность нервной системы человека (в последующие годы она получила широкое применение в СССР и за рубежом в области протезирования).

Подводя итоги проделанных исследований, И. И. Артоболевский указал, что в области теории машин автоматического действия наиболее перспективные результаты получены по программному управлению машинами. Однако наряду с большими успехами в развитии механики машин есть проблемы, требующие существенного развития:

«В области анализа механизмов еще мало уделяется внимания сравнительной оценке кинематических, динамических и точностных свойств механизмов различной структуры, но общего функционального назначения. Методы синтеза механизмов излагаются в чрезмерно общем виде и не сопровождаются инженерными расчетными материалами. Почти отсутствуют исследования по синтезу механизмов с учетом динамических характеристик. Не разрабатываются вопросы кинетостатики плоских и пространственных механизмов с учетом реального конструктивного оформления кинематических пар и звеньев.

Отсутствуют исследования по общей динамике пространственных механизмов...

Требуют более широкого развития работы по изучению динамики машинных агрегатов как единой динамической системы со многими степенями свободы.

Серьезное внимание должно быть уделено изучению кинематики и динамики механизмов с упругими звеньями и зазорами в кинематических парах.

...Общая теория машин-автоматов развивается очень слабо, несмотря на то, что теория механизмов и машин в настоящее время обладает мощным арсеналом методов анализа и синтеза ме-

ханизмов, которые могут быть использованы для развития теории, методов построения и расчета машин-автоматов.

Одной из важнейших причин отставания в развитии теории машин автоматического действия... является то, что совершенно неудовлетворительно разрабатывается теория рабочих процессов, на базе которой только и могут быть сформулированы требования к рациональным конструкциям как отдельных механизмов, так и целых машин-автоматов» [1].

Доклады, прочитанные на секциях, отразили не только результаты, достигнутые советской наукой о машинах, но и поиски новых путей и новой тематики.

И. И. Артоболевский в докладе, прочитанном на секции анализа и синтеза механизмов «К теории синтеза механизмов для воспроизведения некоторых видов алгебраических и трансцендентных кривых», коснулся истории вопроса и показал место теории точных методов синтеза механизмов в общей системе. Н. И. Колчин привел опыт построения расширенной структурной классификации механизмов и основанной на ней структурной таблицы механизмов. Н. И. Левитский отметил, что при решении задач синтеза плоских шарнирных механизмов обычно стремятся найти шарнирный четырехзвенник, удовлетворяющий заданным условиям, но в некоторых случаях таким образом не удается получить требуемое движение и тогда можно попытаться найти плоский шарнирный четырехзвенник, точно или приближенно выполняющий требуемое движение. Доклад Г. Д. Ананова был посвящен кинематике пространственных пятизвенных кривошипно-шатунных механизмов. Ф. М. Диментберг и С. Г. Кислицын рассмотрели вопрос о применении винтового исчисления к анализу пространственных механизмов. Отдельные работы касались техники эксперимента, кинематической геометрии, анализа некоторых специальных видов механизмов.

Большинство докладов, зачитанных на секции «Динамика машин», было посвящено исследованиям в области новых направлений динамики машин и механизмов, в основном теории вибраций в машинах и теории машин вибрационного действия. В докладе А. И. Кухтенко был рассмотрен теоретико-вероятностный метод описания процесса работы машин, пригодный для описания рабочих процессов землеройных, угледобывающих, горнопроходческих и многих сельскохозяйственных машин, а также в судостроении, автостроении и военной технике. Во всех этих случаях силы, действующие на рабочие органы машин и передающиеся по всем звеньям их кинематических цепей в процессе взаимодействия рабочих органов с обрабатываемым или разрушаемым материалом, резко и незакономерно изменяются.

---

[1] *И. И. Артоболевский.* Современное состояние теории машин и механизмов. — В кн.: Труды Второго всесоюзного совещания по ТММ. М., 1959, стр. 22—23.

А. П. Малышев произвел силовой анализ механизмов, имеющих в своем составе статически неопределимые узлы, т. е. пластины, фермы, рамы, многоопорные балки и валы. В докладе Н. П. Раевского была освещена современная техника эксперимента динамики машин.

На секции «Теория машин автоматического действия» в докладе С. И. Артоболевского «О структуре технологических машин-автоматов и ее роли в развитии их общей (межотраслевой) теории» был предложен ряд общих признаков, на основании которых можно классифицировать приводы и элементы приводов любых машин-автоматов, т. е. дана база для создания общей теории технологических машин-автоматов.

М. Л. Быховский и А. Е. Кобринский исследовали динамику шаговых систем программного управления. Э. И. Шехвиц рассмотрел системы управления и привода механизмов периодических перемещений в машинах-автоматах. Проблемам механизмов питания машин-автоматов были посвящены доклады Н. А. Камышного, М. В. Медвидя и В. Ф. Прейса и М. К. Клебанова.

Доклады секции «Теория передач в машинах» были посвящены в основном теории зубчатых зацеплений и зубчатых передач; отдельные доклады относились к теории кулачковых механизмов, шарнира Гука, гибких механизмов. В. И. Гавриленко в докладе «Некоторые итоги развития советской науки о зубчатых механизмах и передачах» привел историческую справку о развитии в СССР теории зацепления и зубчатых механизмов, а также разработанную им классификационную таблицу зубчатых передач.

Совещание приняло решение, в котором наметило программу дальнейших работ в области теории механизмов и машин. Наряду с проблемами развития методов синтеза плоских и пространственных механизмов, теории и методов изготовления зубчатых зацеплений, был сформулирован ряд новых проблем:

— развитие методов синтеза механизмов с гидравлическими, пневматическими и электронными устройствами;

— разработка вопросов точности в теории проектирования автоматов и автоматических линий и в теории рабочих процессов;

— разработка вопросов динамической точности электрических и электронных цепей автоматических систем;

— развитие общей теории производительности машин-автоматов с учетом новых и усовершенствованных рабочих процессов;

— разработка теории автоматического управления машинами и системами машин средствами вычислительной техники;

— разработка теории новых систем цифровой автоматизации, в том числе таких, как самонастраивающиеся системы;

— развитие теории и методов проектирования современных механизмов и устройств автоматического действия, включающих как жесткие звенья, так и пневматические и гидравлические, электрические и электронные устройства.

Совещание рекомендовало:

— развивать методы динамического исследования машинных агрегатов и электромеханических систем как единой динамической системы с одной или несколькими степенями свободы;

— развивать методы динамического исследования механизмов с упругими звеньями и зазорами в кинематических парах;

— развивать работы по исследованию важнейших динамических характеристик рабочих процессов и машинных агрегатов;

— продолжать развитие вопросов динамической точности и вопросов расчета точности машин и приборов в целом.

Таким образом, хотя в трудах совещания вопросы теории машин автоматического действия и динамики машин занимали относительно скромное место, в решении эти проблемы уже выходят на первый план, поскольку отвечают первоочередным потребностям советского машиностроения. В дальнейшем намечается все более резкий крен в сторону проблем динамики рабочих машин и машин-автоматов.

В докладе на Первом всесоюзном съезде по чистой и прикладной механике (февраль 1960 г.) И. И. Артоболевский проанализировал развитие динамики машин за 50-е (в основном) годы в Советском Союзе и за рубежом, сведя соответствующие исследования к нескольким группам задач.

К первой группе он отнес методы динамики машин, вызванные необходимостью учитывать влияние упругости отдельных звеньев кинематических цепей. Эта группа включает два типа задач: в задачах первого типа дополнительные перемещения звеньев, возникающие вследствие упругих деформаций, оказываются малыми по сравнению с основными перемещениями, обеспечивающимися кинематической схемой механизма; методы исследования таких задач должны сочетать приемы теории механизмов и машин и теории колебаний. Ко второму типу относятся системы, движение которых осуществляется за счет деформации упругих звеньев или элементов и описывается дифференциальными соотношениями; иначе говоря, циклограмма их работы не может быть получена из чисто кинематических соображений. Для таких систем (к ним, наряду с механизмами с упругими звеньями, относятся также механизмы, содержащие гидро-, пневмо- и электроустройства) кинематическое и динамическое исследования должны выполняться совместно. Методы расчета и проектирования подобных систем развивались в основном применительно к машинам вибрационного и виброударного действия.

Актуальными задачами теории механизмов с гидравлическими устройствами докладчик назвал разработку методов кинематического и динамического синтеза гидроустройств по заданным законам движения; дальнейшее исследование неустановившегося движения и устойчивости движения гидроприводов, а также отдельных гидроустройств; получение экспериментальных данных

по характеристикам отдельных гидроустройств и гидроприводов в целом, а также по силам сопротивления, действующим в различных машинах. Подобные задачи стояли и перед учеными, разрабатывающими теорию пневматических механизмов.

А. П. БЕССОНОВ

Второй группой задач были названы вопросы исследования движения машин при силах, зависящих от положения, скорости и времени. Так, М. Л. Быховский рассмотрел динамику механической части совместно с динамикой электрической части электропривода (1958), А. П. Бессонов выполнил качественное исследование и анализ особых точек движения машинного агрегата (1958).

Следующая группа задач — проблема динамической точности систем, получившая особое значение в теории машин-автоматов и оказавшаяся существенной для других областей техники: измерительной, счетно-решающих устройств и электронно-вычислительных машин, приборов военной техники и т. п. Могут иметь место два типа погрешностей — инерционные, возникающие в расчетной схеме с номинальными значениями параметров из-за того, что система работает в том или ином динамическом режиме, отличающемся, например, от того, при котором происходит ее настройка и градуировка и динамические, зависящие от неточностей в изготовлении элементов системы. Соответствующие исследования были освещены М. Л. Быховским в ряде статей и в монографии «Основы динамической точности электрических и механических цепей» (1958).

Среди рабочих методов динамического исследования машин важное значение в 50-х годах получили моделирование и экспериментальная динамика. Моделирование процессов при помощи электронно-вычислительных машин — одно из наиболее эффективных средств исследования динамики механизмов и машин, поскольку дает возможность проследить за влиянием отдельных параметров на поведение системы. В этом направлении работали М. Л. Быховский и А. Е. Кобринский.

Измерительная техника в послевоенные годы ориентировалась на электрические и электронные приборы и аппараты для измерения механических величин. Применение проволочной тензометрии и внедрение электронных приборов, практически безынер-

ционных, дало возможность измерять механические параметры кратковременных процессов. В монографии Н. П. Раевского (1959) описаны датчики механических параметров машин. В сборнике ЦНИИТМАШ «Виброизмерительная аппаратура» (1958) дана методика испытаний станков, новая аппаратура для измерения вибраций и тарирования датчиков. В монографиях В. Д. Хохлова и Я. И. Корытысского, Г. Н. Захарова и др. описаны приборы для измерений технологических и механических параметров текстильных машин, а также методы их испытаний (1958).

Динамике тяжелых машин была посвящена монография А. Н. Голубенцева «Динамика переходных процессов в машинах со многими массами» (1959). Автор решает задачи по определению действительных нагрузок в линиях передач тяжелых машин во время переходного процесса с учетом колебательных явлений. Динамическому синтезу механизмов по Чебышеву была посвящена монография Я. Л. Геронимуса (1958). В монографии С. Н. Кожевникова «Динамика машин с упругими звеньями» (1961) рассмотрен достаточно общий метод динамического расчета машин с учетом упругости звеньев, который можно применить к тяжелым машинам различных типов, если они могут быть представлены системой неизменных приведенных масс, связанных между собой упругими связями. В исследовании Л. И. Штейнвольфа «Динамические расчеты машин и механизмов» (1961) освещена проблема колебаний машинных установок и фундаментов.

С конца 50-х годов непрерывно растет число работ, посвященных теории машин автоматического действия. В частности, в области теории гидропривода работали Е. А. Цуханова, Л. В. Петрокас, С. Н. Кожевников, Н. И. Левитский, Е. М. Хаймович, В. Б. Гордин, В. В. Роханов, Т. М. Башта и др. Теорию пневматического привода разрабатывали Е. В. Герц и Г. В. Крейнин, П. И. Ковалев, Т. К. Берендс и А. А. Таль, В. П. Зенченко, А. Г. Холзунов, М. М. Гохберг и др.

Одним из основных механизмов привода в машинах-автоматах продолжал оставаться кулачковый механизм. В работе С. И. Артоболевского «О некоторых основных зависимостях механики прерывных движений и их использовании при расчете машин» (1960) и в ряде работ К. В. Тира, завершенных монографией «Комплексный расчет кулачковых механизмов» (1958), исследовано применение кулачковых механизмов для выполнения технологических операций.

С 50-х годов начинается оснащение машин автоматического действия счетно-решающими и логическими устройствами. В связи с этим существенное значение приобрели вопросы теории, методы расчета и конструирования систем программного управления. Этой теме, в частности, посвящена монография А. А. Булгакова «Электронные устройства автоматического управления» (1958),

а также работы В. Г. Зусмана и И. А. Вульфсона по проектированию систем цифрового программного управления станками.

Под влиянием запросов производства теория технологических машин становится самостоятельным научным направлением. С. И. Артоболевский в цикле исследований (1958—1960) разработал основы теории структуры технологических машин и структурную классификацию исполнительных агрегатов, определяющую различие в методах их кинематического и динамического расчета. Им была сделана также попытка создать классификацию технологических машин-автоматов, исходя из различий в функционально-производственных схемах машин (1955).

Механика процессов подачи обрабатываемых материалов и методы расчета соответствующих устройств были изучены в работах В. Ф. Прейса (1959—1961), М. В. Медвидя (1959), Н. И. Камышного (1959—1960). М. М. Гернет исследовал вопросы механизации мукомольной и пищевой промышленности. Им была разработана теория уравновешивания молотковых мельниц и теория расчета молотков на удар (последняя полностью освободила валы машин от ударов, в результате чего износоустойчивость мельниц возросла в несколько раз). Под руководством М. М. Гернета было создано семь механизированных линий хлебозаводов.

В 1961 г. в Туле была проведена конференция, на которой обсуждались методы проектирования и эксплуатации автоматических линий в различных производственных условиях. В 1958 г. вышла монография А. П. Владзиевского «Автоматические линии в машиностроении», а в 1961 г. — «Автоматы и автоматические линии» Г. А. Шаумяна. Были изданы два сборника работ по автоматическим роторным линиям (1959, 1960). В этом же направлении работали В. Ф. Прейс, И. А. Клусов, Е. Н. Фролович. Кроме того, в конце 50-х — начале 60-х годов были рассмотрены вопросы расчета циклограмм, создания методов управления станками, началось изучение теории производительности технологических машин. Создавались методы экспериментального исследования машин автоматического действия в реальных условиях их работы.

В области анализа и синтеза механизмов и теории передач продолжались исследования в классических для советской школы направлениях. В 1959 г. вышли три капитальные монографии, посвященные синтезу механизмов. «Теория механизмов для воспроизведения плоских кривых» И. И. Артоболевского завершила большой цикл его работ, посвященных проблемам теории механизмов, точно воспроизводящих заданные математические зависимости; автор подробно рассмотрел механизмы для воспроизведения алгебраических кривых до 4-го порядка включительно и некоторые механизмы для воспроизведения алгебраических кривых более высших порядков и трансцендентных кривых. Завершалась работа кратким историческим очерком.

Монография И. И. Артоболевского, Н. И. Левитского и С. А. Черкудинова «Синтез механизмов» — одна из наиболее пол-

ных в мировой литературе работ, посвященных этому вопросу. В ней нашли отражение не только все исследования отечественной школы теории механизмов, выполненные до конца 50-х годов, но и значительное большинство зарубежных исследований в этом направлении. В первой части книги приводятся результаты исследований в области теории структуры и кинематической геометрии. Вторая часть содержит теорию точных методов синтеза механизмов — центроидных, некоторые задачи синтеза механизмов с низшими парами для точного воспроизведения кривых, кулачковых механизмов и синтез мальтийских механизмов. Третья часть посвящена теории приближенных методов синтеза механизмов — алгебраическим и методам, основанным на кинематической геометрии. Монографии предпослана краткая историко-библиографическая справка о развитии методов синтеза механизмов.

Монография С. А. Черкудинова «Синтез плоских шарнирно-рычажных механизмов» посвящена приближенному синтезу механизмов на основе идей Бурместера и Чебышева.

Большое внимание, уделяемое шарнирно-рычажным механизмам, объясняется тем, что они дают возможность решать те же задачи, что и кулачковые механизмы, но имеют при этом ряд преимуществ: дешевле и проще в изготовлении, более износоустойчивы, легко регулируются, а поэтому могут найти широкое применение в машинах автоматического действия как в качестве исполнительных механизмов машин-автоматов, у которых рабочие звенья осуществляют сложные законы движения, так и в качестве функциональных механизмов в приборах и системах автоматического контроля и управления различными процессами.

Новым для советской науки о механизмах явилось использование ЭВМ для решения задач синтеза механизмов. Первой появилась статья И. Б. Людмирской «Применение цифровых машин для синтеза шарнирных четырехзвенных счетно-решающих механизмов» (1960). В статье Н. И. Левитского «Приближенный синтез механизмов с двумя степенями свободы» (1961) показано, что решение задач, например, с одиннадцатью параметрами кинематической схемы (как у автора) практически возможно лишь на быстродействующих ЭВМ.

Ряд работ был опубликован по теории зубчатых зацеплений: монографии В. Н. Кудрявцева «Зубчатые передачи» (1957) и «Планетарные передачи» (1960), монография Ф. Л. Литвина «Теория зубчатых зацеплений» (1960), некоторые статьи В. А. Гавриленко.

Основные работы И. И. Артоболевского, выполненные им в течение этих лет, относились к области точного и приближенного синтеза механизмов, динамики машин, теории машин автоматического действия, экспериментальных методов в теории механизмов. Вместе с тем он продолжает интенсивно работать в области

истории науки и техники, методики теории механизмов и популяризации науки. Весьма многосторонней была и его научно-организационная и общественно-политическая деятельность. Он принимает участие в различных комиссиях Академии наук СССР, работает в Бюро отделения технических наук. В 1959 г. избирается депутатом Верховного Совета РСФСР 5-го созыва и членом Президиума Верховного Совета РСФСР. Одновременно является президентом научно-технической секции Союза обществ дружбы и культурных связей с зарубежными странами, с 1961 г. — вице-президент Института советско-американских отношений.

В конце 50-х годов заметно оживляется исследовательская работа в области теории механизмов и машин в ряде зарубежных стран, и Артоболевский принимает активное участие в национальных конференциях по механике машин, в результате чего влияние советской школы теории механизмов и машин на развитие мировой науки значительно возрастает. В некоторых странах переводятся учебники советских ученых (в том числе И. И. Артоболевского), зарубежные ученые пользуются в своих исследованиях методами, разработанными советской школой. Вместе с тем установление более тесных связей с зарубежными учеными, ознакомление с их работами и исследовательскими методами не могло не отразиться и на формировании тематики исследований советских ученых. Начиная с Третьего совещания по основным проблемам теории механизмов и машин (Москва, июнь 1961 г.), конференции советских машиноведов становятся событиями международного значения.

В Третьем всесоюзном совещании приняло участие более 800 человек, в числе которых были сотрудники научно-исследовательских институтов, преподаватели высших учебных заведений, инженерно-технические работники.

Открывая секцию «Динамика машин», И. И. Артоболевский в докладе (написанном совместно с А. Е. Кобринским) осветил современное состояние проблемы. Он указал, что содержание задач динамики машин, звенья которых считаются жесткими, расширилось. В значительной степени это было обусловлено необходимостью обеспечить эффективные значения динамических параметров машинных агрегатов, высокофорсированных по скоростям и нагрузкам.

«Расширению содержания этой проблемы способствовало также более глубокое изучение динамических процессов, протекающих в механической системе с электродвигателем. В ряде случаев времена переходных процессов в механических и электрических цепях машинного агрегата соизмеримы между собой. При этом оказывается необходимым решать уравнения динамики совместно с уравнениями электродинамики. В других случаях время переходного процесса в электрических цепях оказывается пренебрежимо малым, однако существенное влияние на динамику процесса оказывают те или иные свойства внешней характеристики

электродвигателя[1]. Наконец, важное значение имеет то, что методы динамики начинают применяться ко все большему кругу механизмов и машин.

Остановившись затем на проблеме динамики машин, содержащих упругие звенья, докладчик указал на то существенное значение, которое приобрели вопросы исследования роторных машин. «В течение последних лет роторные машины вытесняют другие типы машин-двигателей из авиации, а также траспортных и стационарных силовых установок. Широкое распространение получили паровые, газовые, гидравлические турбины, электродвигатели и рабочие машины роторного типа. В связи с этим возникла необходимость в исследовании частотных и амплитудных характеристик этих машин при самых различных конструктивных вариантах и при работе их как на установившихся, так и на переходных режимах. Во всех этих исследованиях упругим звеном в большинстве случаев является сам ротор машины, иногда опоры ротора; наконец, в некоторых исследованиях одновременно учитывалась упругость обоих звеньев системы»[2].

Остановившись далее на машинах вибрационного и виброударного действия, на системах с пневмо- и гидроустройствами, на проблемах экспериментальной динамики, авторы доклада приходят к заключению, что анализ исследований как отечественных, так и зарубежных, выполненных за последние три года, позволяет сделать следующие выводы:

— получены существенные результаты в области исследования динамики машинных агрегатов с учетом свойств электропривода и упругости звеньев;

— значительное развитие получила теория машин вибрационного и виброударного действия и, в частности, методы исследования динамики и устойчивости периодических режимов их движения;

— получили применение в решении задач динамики машин методы электромоделирования и машинной математики; значительное усовершенствование и развитие получили экспериментальные методы исследования.

Большинство докладов, прочитанных на этой секции, относилось к динамике машин с упругими звеньями (применение методов теории колебаний к задачам механики машин стало одним из важнейших методов исследования): В. О. Кононенко «О свойствах двух нелинейных колебательных систем», К. М. Рагульскиса «Установившиеся крутильные колебания механизма с одной степенью свободы», И. И. Блехмана «Об условиях нормальной работы многовибраторных вибрационных машин», Л. И. Цехно-

---

[1] *И. И. Артоболевский, А. Е. Кобринский.* Современное состояние динамики машин. — В кн.: Труды 3-го совещания по основным проблемам ТММ. М., Машгиз, 1963, стр. 7—8.

[2] Там же, стр. 8.

вича «Вынужденные крутильные колебания в машинном агрегате с электрическим приводом». В двух докладах было проведено исследование работы машинного агрегата в комплексе с двигателем. В докладе С. Н. Кожевникова «Уравнения динамики механизмов, описываемых разветвленными цепями дискретных масс с упругими связями» изучены уравнения динамики переходных и неустановившихся процессов в тех случаях, когда механизмы нельзя представить в виде линейных цепей дискретных масс с упругими связями (на примере прокатных станов). В докладе В. И. Небеснова «Энергетический баланс сложных агрегатов на эксплуатационных режимах» был применен метод малых отклонений к решению системы, состоящей из группы винтовых теплоходов, буксирующих несколько судов.

Секция теории машин автоматического действия была открыта докладом С. И. Артоболевского «Современное состояние теории машин-автоматов», в котором подводился итог исследовательской работе в этом направлении за годы, протекшие между Вторым и Третьим совещаниями. Докладчик указал, что современное состояние теории машин автоматического действия характеризуется достаточно широкой разработкой методов расчета основных узлов машин (приводов, систем управлений, исполнительных и передаточных механизмов) и ряда разделов теории технологических машин (структуры, кинематики, энергетики, производительности) и соответствующих методов их расчета. При этом он отметил, что исследования в области теории машин автоматического действия, выполняемые в Советском Союзе, по широте тематики и научному уровню превосходят зарубежные работы.

Так как технологические процессы могут строиться самым различным образом и один и тот же процесс можно осуществить, применяя различные по структуре машины-автоматы и автоматические линии, то для выбора оптимального варианта необходимы теория и методы комплексной оценки эффективности линий, машин и их отдельных узлов по ряду показателей.

Отечественный и зарубежный опыт создания систем автоматизации показывает, что эффективное использование современных достижений автоматики, электроники, кибернетики требует глубокого переосмысливания и в ряде случаев коренного изменения автоматизируемого процесса и соответственно машинного комплекса. Необходимы коренное усовершенствование существующих и создание новых типов машин-автоматов и автоматических линий, что, в свою очередь, требует создания теории машин автоматического действия.

На заседаниях секции «Теория гидро- и пневмопривода» было прочитано шесть докладов, по своей тематике примыкавших к докладам секции теории машин автоматического действия.

На секции «Анализ и синтез механизмов» было заслушано 22 доклада и сообщения. Во вступительном докладе Н. И. Левитский остановился на основных направлениях работ, выполненных

в течение трех лет до 1961 г. Он указал, что за 1958, 1959 и 1960 гг. в СССР и за рубежом было опубликовано 348 работ по анализу и синтезу шарнирных, кулачковых и зубчато-рычажных механизмов. Начавшееся внедрение цифровых электронных машин в практику научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро позволило значительно ускорить процесс создания справочных материалов по проектированию механизмов и привело к разработке новых методов решения задач синтеза механизмов на электронных цифровых машинах. Должна быть также продолжена работа по созданию справочных данных по отдельным видам механизмов: все это позволит подойти к обоснованному решению одной из основных задач науки о машинах — выбору схемы механизма для выполнения определенной функции, связанной с назначением машины.

Были поставлены два обзорных доклада по применению электронных цифровых машин для решения задач анализа и синтеза механизмов, поскольку на Третье совещание уже было представлено большое число работ, соответствующих этой тематике.

В докладе И. И. Артоболевского «Теория линейно-огибающих шатунных кривых» был рассмотрен один из вопросов кинематической геометрии. Автор определил линейно-огибающую шатунную кривую как кривую, огибающую положения прямой линии, произвольно расположенной в плоскости шатуна четырехзвенного механизма. Теории кривых Бурместера было посвящено сообщение Я. Л. Геронимуса, несколько сообщений имели своей темой теорию кулачковых механизмов, а большинство относилось к теории шарнирно-рычажных механизмов, плоских и пространственных.

Секция «Теория передач в машинах» занималась главным образом двумя вопросами — теорией зубчатых зацеплений и зубчатых механизмов. Из этой тематики выпадали лишь два сообщения: В. А. Светлицкого по теории передач с гибкой связью и А. П. Лапина по передачам с промежуточными звеньями и их классификации.

Сравнивая содержание докладов, прочитанных на 2-м и 3-м совещаниях по теории механизмов, можно увидеть, как под влиянием научно-технической революции в конце 50-х годов резко повышается интерес к проблемам динамики машин и теории машин автоматического действия. Ее влияние сказалось и на «классических» направлениях теории механизмов и машин, например, к задачам анализа и синтеза механизмов начали применять современную вычислительную технику. После 1961 г. количество работ по применению ЭВМ к решению задач теории механизмов умножилось. С помощью ЭВМ был создан обширный справочный материал в виде таблиц, карт и графиков. Вместе с тем уже в начале 60-х годов обнаружилось расхождение между теорией механизмов и машин как наукой и как предметом преподавания. Наука быстро уходила вперед, а предмет преподава-

ния сдерживался быстро устаревающими программами, что привело к необходимости усовершенствовать содержание читаемых курсов и методы преподавания.

Наибольшее применение электронно-вычислительная техника нашла в задачах анализа и синтеза рычажных механизмов. Разработанные справочные материалы дали право утверждать, как указал И. И. Артоболевский, «...что задача синтеза какого-либо рычажного механизма может считаться решенной только в том случае, когда определены и показаны области существования искомого решения, или, как теперь принято говорить, области существования механизма. В некоторых случаях области существования механизмов в той части, где располагаются практически пригодные механизмы, оказываются очень небольшими, т. е. только для некоторых комбинаций заданных величин можно найти механизм, удовлетворяющий условиям воспроизведения заданного движения.

Использование «карт», показывающих области существования механизмов, снимает одно из основных ограничений к применению разработанных ранее методов синтеза механизмов. Это ограничение сводилось к тому, что, выбирая в качестве заданных величин некоторые исходные параметры механизмов, очень часто конструкторы получали такие соотношения между другими параметрами механизма, какие не могут быть выполнены. Другими словами, не зная областей существования механизма, приходилось действовать «вслепую» при выборе комбинации заданных величин. Теперь ... можно отметить, что для многих задач синтеза плоских рычажных механизмов области существования механизмов построены» [1].

Существуют две группы справочных материалов. К первой относятся графики и справочные карты, получаемые методами синтеза механизмов; ко второй — таблицы, графики и справочные карты, содержащие общие характеристики механизмов и получаемые методами анализа, однако ими можно пользоваться и для решения задач синтеза механизмов. Слияние задач анализа и синтеза механизмов характерно для многих работ по теории рычажных механизмов, выполненных в первой половине 60-х годов.

Подобные справочные материалы были созданы и для пространственных механизмов, но для ограниченного числа задач. Основным направлением теории пространственных механизмов стала ее дальнейшая математизация.

В области теории кулачковых механизмов были поставлены и решены задачи с учетом реальных условий работы: кроме учета кинематических и динамических требований, начали принимать во внимание также технологические условия, условия точности, прочности и долговечности. Так как кулачковые механизмы вы-

---

[1] *И. И. Артоболевский.* Основные проблемы современной теории механизмов. — В кн.: Механика машин, т. 1—2. М., «Наука», 1968, стр. 7.

ходят из строя главным образом вследствие износа кулачков, появились исследования, в которых при решении задачи определения основных размеров механизма учитывался не только угол давления, но и скорость скольжения, радиусы кривизны, контактные напряжения и другие факторы, влияющие на износ кулачка.

Ряд работ был выполнен по анализу и синтезу комбинированных механизмов — кулачково-рычажных, зубчато-рычажных.

В области создания передач постоянно возрастали требования к точности, нагрузочной способности и производительности механизмов. Наибольшее число работ было посвящено теории зубчатых зацеплений и зубчатых механизмов. В этом направлении в первой половине 60-х годов был разработан метод определения условий отсутствия подрезания для плоских и пространственных зацеплений, кинематический метод определения кривизны поверхностей нарезаемого колеса через кривизну инструментальной поверхности, метод синтеза приближенных конических и гипоидных зацеплений, позволяющий обеспечить контакт в заданной точке и оптимальные условия зацепления в ее окрестности, модификация червячного зацепления с вогнутым профилем червяка нагрузочная способность которой и КПД оказались лучше, чем у цилиндрических червячных передач, проведены дальнейшие исследования конических и винтовых зацеплений, экспериментальные и теоретические исследования зацепления Новикова и его вариантов.

В области динамики машин основные исследования были направлены на изучение динамических процессов в машинных агрегатах в реальных условиях их работы: исследовались переходные режимы, учитывалась упругость звеньев и связей систем, обладающих различными нелинейностями, причем не только для машин, представляемых системы с дискретными параметрами — массами и жесткостями, но и системы с распределенными параметрами, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных.

В связи с возникшими трудностями при описании динамических процессов, в особенности переходных процессов в тяжелых машинах, усложняется используемый при этом математический аппарат: пришлось прибегнуть к интегральным уравнениям Вольтерра 2-го рода.

Продолжались исследования динамики вибромеханизмов и виброударных механизмов, применение которых в различных производствах постоянно расширялось; были разработаны новые технологические процессы. При этом опять пришлось перейти от исследования собственно механизма к исследованию механизма в процессе работы, т. е. с учетом обрабатываемого или транспортируемого материала. Это усложнило задачу, зато позволило значительно уточнить ее.

Исследовались явления, связанные с ускорениями высших порядков, особенно их влияние на динамические процессы в меха-

низмах. Было установлено, что воздействие ускорений 2-го порядка обнаруживается для систем, обладающих упругими звеньями: возникают деформации, не только зависящие от кинетостатической нагрузки, определяемой силами инерции, но еще и динамические усилия, вызванные действием нестационарного ускорения. Таким образом, возникли новые задачи динамики механизмов: определение динамических нагрузок, вызванных действием сил инерции, обусловленных нестационарным ускорением, и динамических ошибок, появляющихся в процессе работы механизмов вследствие наличия ускорений 2-го порядка.

Важное значение получило исследование механизмов переменной структуры.

Все большее значение приобретала динамика тела переменной массы. В самых различных областях промышленности встречаются механизмы, в состав которых входят звенья переменной массы: у них меняется не только масса, но и момент инерции и положение центра тяжести. Поскольку такие звенья входят в кинематические пары с другими подвижными звеньями, их динамические расчеты весьма сложны. Возникают задачи изучения движения таких систем, их силового анализа, а также задачи динамического синтеза, связанные с уравновешиванием роторных машин и многозвенных механизмов на фундаменте.

К 1964 г. были рассмотрены вопросы общей теории механизмов, у которых масса отдельных звеньев является детерминированной функцией координат, скорости и времени. Получены основные уравнения движения таких систем, развиты методы их силового анализа, и решены некоторые задачи об уравновешивании роторных систем с переменной массой. При этом часто пользовались методом затвердевания: в этом случае можно применять методы общей динамики механизмов и машин.

Были рассмотрены некоторые нестационарные задачи вибрационных механизмов с переменными параметрами, а также задачи по вибрационным системам с дискретным изменением масс звеньев. Еще более сложные задачи возникают в том случае, когда в состав механизмов входят звенья с массой, не являющейся детерминированной функцией положения, скорости и времени (например, колебания сложных систем привода многотонного конвейера с расплавленным металлом).

В области теории машин автоматического действия проведен ряд исследований, посвященных развитию теории, методов расчета и оптимального проектирования, а также эксплуатации автоматических машин и линий. Однако основной оставалась проблема теории рабочих процессов, а также теория производительности автоматических систем и их надежности.

Решение задач синтеза автоматов потребовало разработки алгоритмов процессов проектирования. Это в свою очередь обусловило необходимость создания математических моделей процессов проектирования и разработки методов оптимального решения

К. М. ИМЕДАШВИЛИ

основных задач синтеза схем машин-автоматов и автоматических линий с помощью ЭВМ.

Одновременно с общей теорией машин автоматического действия развивались исследования в области теории пневматического и гидравлического приводов. Началось создание системы анализа и синтеза силовых исполнительных механизмов и систем управления. Были проведены исследования по применению универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики для дискретных систем управления в машиностроении. Начато использование в машиностроении быстродействующих струйных элементов, не имеющих подвижных механических деталей (они оказались дешевыми и надежными в эксплуатации). Весьма эффективным оказалось применение законов математической логики и методов синтеза релейных схем для синтеза пневматических систем управления. Использование ЭВМ и моделирующих машин дало возможность полнее решать задачи динамики гидромеханизмов. Наконец, существенное развитие получила техника эксперимента.

В 60-х годах возникли сильные группы исследователей в области теории механизмов и машин в республиканских научных центрах. В Грузии исследовательская группа организовалась вокруг семинара, которым руководил Д. С. Тавхелидзе. Их основной тематикой стала теория плоских и пространственных шарнирных механизмов, теория кулачковых механизмов. Сам Тавхелидзе работал в области теории пространственных шарнирных механизмов, плоских шарнирных пятизвенных механизмов, механизмов с изменяемыми размерами звеньев, шестизвенных механизмов, теории ускорений высших порядков. Теорией синтеза пятизвенных механизмов с изменяющимися размерами звеньев занимался также А. А. Тамамшев. Плоские пятизвенные механизмы и некоторые пространственные механизмы изучал В. М. Январашвили, четырехзвенные пространственные механизмы — Г. А. Джабуа, теорию планетарных и дифференциальных зубчатых передач — К. А. Имедашвили, теорию кулачковых механизмов — О. С. Езикашвили.

В прибалтийских республиках важнейшими научными центрами в области механики машин стали Каунас, Рига и Елгава,

Таллин. В 1962 г. состоялось первое региональное совещание по теории механизмов и машин в Каунасе; там же был организован филиал семинара, руководство которым принял на себя К. М. Рагульскис. Сам Рагульскис занимался сперва теорией кулачковых механизмов, а затем вопросами динамики машин, в частности теорией машин вибрационного действия (в этой области он создал сильную группу учеников и сотрудников). А. И. Ясюленис исследовал кинематику многозвенных механизмов, главным образом вопросы кинематической геометрии.

К. М. РАГУЛЬСКИС

Интересные исследования в области теории структуры и классификации выполнил в конце 50-х—начале 60-х годов О. Г. Озол. Он предложил и развил общую классификацию механизмов по видам связей, основанную на изучении передачи сил в процессе движения. Положительным свойством классификации Озола является ее общность: в качестве частных случаев она включает другие классификации механизмов. Он предложил также структурную формулу и показал возможность ее применения для целей структурного синтеза механизмов. В связи с теорией структуры Озол начал исследования топологических свойств кинематических цепей.

Перед Четвертым совещанием по основным проблемам теории механизмов и машин (Киев, 1964 г.) было издано много монографий, опубликованы важные исследования по многим капитальным вопросам теории: «Счетно-решающие устройства» С. О. Доброгурского, В. А. Казакова и В. К. Титова, «Теория зубчатых зацеплений» Ф. Л. Литвина, «Кулачковые механизмы» Н. И. Левитского, «Технологические машины-автоматы» С. И. Артоболевского, «Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов» Я. Л. Геронимуса, «Механизмы с упругими связями» А. Е. Кобринского и др. В ряде статей И. И. Артоболевский обобщил опыт, полученный в результате проведенных за это время работ, наметил важнейшие направления дальнейших исследований, обратив особое внимание на работы в области динамики машин и теории машин автоматического действия.

На Четвертом совещании по основным проблемам теории механизмов и машин работали четыре секции: анализа и синтеза механизмов; динамики машин; теории машин автоматического

О. Г. ОЗОЛ

действия и пневмо- и гидропривода; теории передач.

В докладе «Развитие методов анализа и синтеза механизмов» Н. И. Левитский подчеркнул, что за время между 3-м и 4-м совещаниями значительно развилось применение электронно-вычислительных машин к решению задач теории механизмов.

В области теории пространственных механизмов были развиты некоторые новые аналитические и геометрические методы, в частности графоаналитический. На секции обсуждались также следующие вопросы: «Синтез пространственных рычажных механизмов», «Построение положений звеньев механизмов», «Номограммы и карты для анализа и синтеза», «Профилирование кулачков», «Выбор конструкции кулачкового механизма и закона движения ведомого звена», «Применение приборов для анализа и синтеза механизмов».

На секции «Динамика машин» основная группа докладов относилась к исследованию машин в реальных условиях. В ряде докладов и сообщений рассматривались вопросы динамики металлургических машин, машин вибрационного действия, теории переходных процессов, теории механизмов с гибкими и упругими звеньями, с электромагнитными, упругими и иными связями, динамики машин с переменной массой отдельных звеньев. Характерно, что содержание большинства докладов было связано с проблемами теории колебаний.

Секция «Теория машин автоматического действия» была открыта докладом И. И. Капустина и Л. В. Петрокаса «Состояние и задачи теории проектирования машин-автоматов». Затем были заслушаны доклады Е. В. Герц «Расчет и проектирование пневматических систем машин-автоматов», И. А. Клусова и А. Р. Сафарянца «Исследование и расчет автоматических роторных машин и линий», Е. А. Цухановой «Особенности синтеза тормозных устройств гидропривода», А. В. Праздникова и А. М. Иоффе «Динамический расчет гидравлических тормозных устройств» и др. Ряд докладов был посвящен проблемам применения ЭВМ и общим проблемам теории автоматов. В докладе Я. С. Якобсона и других предложены способы управления многофункциональными биоэлектрическими протезами.

Основные доклады, прочитанные на секции теории передач в машинах, относились к зубчатым зацеплениям и зубчатым механизмам; несколько докладов было посвящено теории вариаторов.

В докладе «Основные проблемы современной теории машин» И. И. Артоболевский обратил внимание на этапы в развитии теории механизмов и машин, которые нашли свое отражение в тематике совещаний: на 2-м совещании наибольшее число докладов было посвящено анализу и синтезу механизмов, а на 3-м и 4-м — динамике машин. Увеличилось число докладов по теории машин автоматического действия и пневмо-, гидропривода. Значительно изменилась и направленность докладов: большее внимание стало уделяться динамическому анализу режимов движения сложных механических систем, использованию аналоговых моделей для изучения динамических явлений, теории машин вибрационного действия, динамике механизмов с переменной массой звеньев, динамике нелинейных механических и электромеханических систем, теории колебаний и устойчивости машин и механизмов в периодических и переходных режимах. С развитием научно-технической революции существенно изменилось само понятие «машина», возникли новые классы машин: контрольно-управляющие, логические, кибернетические, а это в свою очередь вызвало расширение предмета теории механизмов и машин и в значительной степени увеличило диапазон ее исследований.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Развитие современной научно-технической революции выдвинуло перед теорией механизмов и машин, как и перед другими фундаментальными и прикладными науками, новые сложные задачи. Наука становится непосредственной производительной силой, растет тенденция сближения ее с практикой. При изучении теории машин все отчетливее намечается переход от идеализированной модели к реальной, работающей в конкретных условиях, что потребовало пересмотра исследовательской тематики, методов исследования, рабочего аппарата. Важнейшим методом исследования становится эксперимент, все большее значение приобретает математический аппарат — современные методы прикладной и чистой математики, все шире прибегают к помощи ЭВМ. Овладение атомной энергией, полеты в космос, широкое внедрение в производство электроники и кибернетических методов обусловливает появление нового направления в теории механизмов и машин — теории роботов и манипуляторов, в частности особое значение приобретает теория структуры механизмов.

В июле 1965 г. в Москве был созван Первый симпозиум по теории и принципам устройства манипуляторов. В докладе А. Е. Кобринского и Ю. А. Степаненко были освещены основные проблемы теории манипуляторов. Они указали на характер проблемы: манипулятор представляет сложную пространственную систему, имеющую большое число степеней свободы, каждая из которых обычно оборудуется отдельным сервоприводом. Сложной проблемой является и управление манипулятором; сложны процессы взаимодействия, протекающие в системе оператор—манипулятор — объект манипулирования. Создание теории манипуляторов требует развития методов биомеханики и теории систем автоматического управления. Авторы остановились на анализе некоторых систем манипуляторов с ручным управлением, указав, что здесь особое значение приобретают экспериментальные методы исследования, позволяющие выявить существенные особенности построения движений при управлении сложной биотехнической системой. Были рассмотрены вопрос о маневренности манипуляторов (зависимость маневренности от числа степеней свободы), задача оптимизации движения, а также некоторые специальные случаи управления.

В докладе В. С. Ястребова была исследована динамика рабочего органа манипулятора, его кинематика и переходные процессы. В докладах Ю. И. Дольникова и А. Ю. Шнейдера приведены результаты экспериментальных исследований руки и искусственной конечности. М. М. Логунов, Н. Ф. Костин, В. С. Ястребов и другие исследовали отдельные элементы манипуляторов и их динамику.

Труды первого симпозиума в определенной степени отражают первые шаги советских исследований в этой области. Примечательно, что уже в этих исследованиях были решены многие вопросы теории манипуляторов и она стала одним из важнейших направлений теории механизмов.

Пятое совещание по основным проблемам теории механизмов и машин состоялось в мае 1967 г. в Сухуми. Представленные работы были объединены в соответствии с их тематикой, и на совещание выносились обзорные доклады. Были организованы «традиционные» секции; по количеству докладов и рефератов наиболее насыщенной оказалась секция динамики машин, которой руководили И. И. Артоболевский и С. Н. Кожевников.

На пленарном заседании доклад «50 лет советской теории машин» прочитал И. И. Артоболевский, остановившись, в частности, на ведущих проблемах в области динамики машин. На секциях обзорные доклады были прочитаны Н. И. Левитским «Современное состояние анализа и синтеза механизмов», Г. А. Шаумяном «Теория производительности как основа проектирования машин-автоматов и автоматических линий», И. И. Капустиным, Л. В. Петрокасом, Д. Я. Ильинским «Основные пути технического прогресса и задача развития теории машин-автоматов»; секция «Теория передач в машинах» была открыта докладом «Развитие теории передач за 50 лет», который представили В. А. Гавриленко, Ф. Л. Литвин и В. Н. Кудрявцев.

Н. И. Левитский отметил, что с 1964 по 1967 г. в отечественной и зарубежной печати было опубликовано свыше 700 работ по анализу и синтезу механизмов, т. е. почти в 2 раза больше, чем за предшествовавшие три года. Наиболее существенным явилось внедрение электронных цифровых машин в практику вычислительных работ, а также создание принципиально новых методов, в которых нашла применение математическая статистика. Повысился интерес к теории пространственных механизмов; здесь нашли применение теория множеств, теория групп, матричное и тензорное исчисления, теория бивекторов, винтов и винтовых аффиноров. Докладчик указал на монографию П. А. Лебедева «Кинематика пространственных механизмов» (1966), в которой рассмотрены аналитические методы исследования, а также указаны многочисленные применения пространственных механизмов в машинах и приборах; предложен сравнительный анализ различных методов и новый метод, позволяющий использовать минимальное число систем координат.

В области теории синтеза пространственных механизмов происходил поиск условий, ограничивающих решение конкретных задач: определения области существования пространственных механизмов, условий существования кривошипа, систематизации пространственных механизмов с целью предварительного выбора схемы.

Теория плоских рычажных, кулачковых и комбинированных механизмов развивалась с учетом их применения в машинах, в частности автоматического действия. Все большее значение получают задачи синтеза механизмов с регулируемыми параметрами и механизмов с несколькими законами движения ведомого звена.

В докладе Г. А. Шаумяна в качестве одной из основных особенностей современного производства было названо противоречие между массовостью выпуска, требующей создания высокопроизводительных автоматических средств производства, и необходимостью непрерывного изменения номенклатуры продукции, что требует универсальности средств производства. Автоматизация развивается различными путями, поэтому наряду с традиционными методами расчета и конструирования машин автоматического действия необходимо развитие методов, опирающихся на теорию производительности машин, которая позволяет установить взаимосвязи между экономическими критериями и технико-экономическими характеристиками работы машины и выявить перспективные направления и пути развития автоматизации.

Доклад Д. Я. Ильинского, И. И. Капустина и Л. В. Петрокаса был посвящен общим вопросам теории машин-автоматов. Авторы отметили, что во многих случаях оказывается возможным алгоритмизировать процесс проектирования машин-автоматов, в связи с чем открываются широкие перспективы использования вычислительных машин для синтеза оптимальных вариантов как отдельных механизмов, так и их совокупностей, образующих машину или автоматическую линию.

Современному этапу развития технологических машин свойственны тенденции к повышению уровня концентрации технологических операций и переходу к непрерывным технологическим процессам. В связи с этим особенное значение получают задачи комплексной механизации и автоматизации, определяемые экономической целесообразностью. Так как отдельно взятая технологическая машина утрачивает свое доминирующее значение, возникает необходимость в создании теоретических основ наиболее рационального объединения машин в технологические комплексы, состоящие из технологических, транспортных, энергетических и информационных машин.

Авторы указали также на целесообразность создания типовых методов проектирования и расчета машин и линий на основе агрегатных блоков.

Таким образом, между динамикой машин и теорией машин автоматического действия появляются многократные линии пересечения. Динамика машин все в большей степени ориентируется на теоретическое исследование технологических машин: более половины докладов, прочитанных на пятом совещании, было посвящено именно технологическим машинам, а остальные относились к проблемам общей динамики — теории колебаний, уравнениям движения машины, теории устойчивости, уравновешиванию вращающихся масс, некоторым специальным случаям теории трения, теории нестационарных и переходных процессов, т. е. в сущности опять-таки к теории технологических машин. При этом некоторые доклады, прочитанные на секции динамики машин, с равным правом можно было отнести и к секции машин автоматического действия.

Л. В. ПЕТРОКАС

Рабочий аппарат современной динамики машин весьма широк и охватывает аналитические, кибернетические и экспериментальные методы. Несколько особняком стоит теория и практика математического моделирования. Что касается экспериментальных методов, то они сами составляют отдельное и весьма важное направление. Есть, наконец, проблемы — общие и для динамики машин и для теории машин автоматического действия. Сюда относятся: задача оптимального синтеза машин-автоматов, которую можно интерпретировать как задачу динамического программирования и поиска наилучшего возможного решения, проблема управления машинами и механизмами, в частности теория и практика систем биоэлектронного управления и теория манипуляторов. Все это — лишнее свидетельство тенденции интеграции наук, характерной для научно-технической революции.

Важным событием в деле развития науки о машинах явилась организация международного объединения специалистов по теории машин. В 1965 г. в Варне (Болгария) была созвана Международная конференция (конгресс) по теории механизмов и машин, в которой приняли участие представители Австралии, Болгарии, Венгрии, Великобритании, ГДР, Италии, Канады, Польши, Румынии, СССР, Франции, ФРГ, Чехословакии и Швеции. Второй международный конгресс был созван в 1967 г. в Польше, в Закопане. В его работе участвовали представители уже 16 стран.

Н. Д. ГЕНКИН

Было заслушано свыше 60 докладов. Конгресс был открыт докладом И. И. Артоболевского, который рассмотрел общие проблемы современной теории машин автоматического действия, остановившись на требованиях, предъявляемых к машинам такого рода, и указав важнейшие направления исследований в области теории машин и механизмов. К ним он отнес: структурный синтез, динамику машинных агрегатов, теорию колебаний, теорию акустики машин, теорию управления машинами, а также комплексные проблемы типа теории манипуляторов.

Основным содержанием большей части докладов, прочитанных на конгрессе, явились проблемы динамики машин, при этом рассматривались они с учетом реального конструктивного исполнения машин и в реальных условиях их работы — сказывалось влияние советской школы теории машин и механизмов, которая первой выдвинула эти проблемы и в сущности разработала основную исследовательскую методику в этом направлении. Советскими учеными было представлено 13 докладов, в том числе: А. П. Бессонова и М. Ю. Очан об учете неуравновешенности роторов намоточных машин и роторов аксиально-поршневых гидромашин; И. И. Артоболевского, М. Д. Генкина и В. И. Сергеева об основных задачах акустической динамики машин; К. М. Рагульскиса и Ю. Д. Балтрушайтиса о синхронизации движений и колебаний узлов шлифовальных станков; А. Е. Кобринского по теории манипуляторов; Д. С. Тавхелидзе и О. М. Вашакидзе по вопросам синтеза пространственных механизмов; В. И. Сергеева о применении статистических методов оптимизации при решении задач теории механизмов и некоторые другие (в частности, Л. С. Гродзенская и Н. И. Левитский представили доклад о необходимости разработки международной терминологии по теории механизмов и машин).

После закрытия конгресса состоялось заседание Учредительной ассамблеи Международной федерации по теории машин и механизмов (ИФТОММ). В организационный комитет Учредительной ассамблеи от СССР вошли И. И. Артоболевский и А. П. Бессонов. Президентом ИФТОММ был избран И. И. Артоболевский, вице-президентом — профессор Ф. Р. Е. Кроссли (США). В качестве основных целей создания федерации были названы: со-

действие развитию науки о машинах, расширение контактов между отдельными учеными и организациями разных стран, занятыми исследовательской работой по теории машин, проведение международных конгрессов и симпозиумов, содействие обмену научной информацией и специалистами, оказание помощи развивающимся странам в их работе в области теории машин и механизмов, установление взаимоотношений с другими международными организациями и союзами, деятельность которых находится в сфере интересов федерации.

В. И. СЕРГЕЕВ

Избрание руководителя советской школы теории механизмов и машин И. И. Артоболевского президентом Международной федерации еще раз подтвердило ведущую роль отечественной школы ТММ в системе мировой науки о машинах.

В 1967 г. Институт инженеров-механиков Великобритании присудил И. И. Артоболевскому международную медаль Джеймса Уатта. На торжественном собрании института Артоболевский прочел доклад «Некоторые аспекты развития теории машин автоматического действия в трудах советских ученых».

Теория механизмов не потеряла своих традиционных связей и с механикой. Важнейшими совещаниями в этом направлении были Третий всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике (Москва, 1968 г.) и Тринадцатый международный конгресс по теоретической и прикладной механике (Москва, 1972 г.). На первом из этих совещаний теория механизмов и машин входила в секцию общей и прикладной механики. Здесь было прочитано несколько докладов более общего, «теоретического», значения. В частности, в докладе И. И. Артоболевского, В. А. Зиновьева и Н. В. Умнова «Динамические особенности механических систем с вариатором» были предложены уравнения движения для системы с неголономной связью, дано приближенное решение задачи и рассмотрены вопросы синтеза подобных систем. Я. Л. Геронимус в докладе «Чебышевские методы в оптимизации синтеза механизмов» рассмотрел наилучшее взаимоуравновешивание инерционных и упругих сил машины и некоторые задачи оптимизации силового режима работы кулачковых механизмов. Е. В. Герц и Г. В. Крейнин доложили о разработанных методах динамического и структурного синтеза пневматических систем

Н. В. УМНОВ

управления и некоторые другие вопросы их теории. А. Е. Кобринский и Ю. А. Степаненко представили доклад «Элементы теории манипуляторов», Ф. Л. Литвин — «Синтез приближенных зацеплений».

Шестое совещание по основным проблемам теории машин и механизмов состоялось в 1970 г. в Ленинграде. Работало четыре секции, причем вторую и третью секции — динамики машин и теории машин автоматического действия, ввиду большого числа представленных докладов, пришлось разделить на подсекции.

На секции «Анализ и синтез механизмов» подавляющее большинство докладов относилось к проблемам синтеза плоских и пространственных рычажных механизмов и кулачковых механизмов. В двух обобщающих докладах, представленных П. А. Лебедевым в соавторстве с другими учеными, было освещено современное состояние теории синтеза плоских и пространственных механизмов графоаналитическими и аналитическими методами (доклад включал библиографию работ, опубликованных между 5-м и 6-м совещаниями). Во втором докладе, посвященном задачам синтеза рычажных механизмов, была исследована область существования, особые точки и другие свойства функций, описывающих движение пространственного четырехсторонника, решены задачи синтеза кривошипно-ползунного пространственного четырехзвенника при помощи ЭВМ и ряд других. В некоторых докладах решались задачи относительно проворачиваемости пространственных механизмов, задачи синтеза пространственных механизмов при определенных условиях, некоторые конкретные задачи синтеза плоских рычажных и кулачковых механизмов. Отдельные доклады были посвящены вопросам точности движения, расчету износа в кинематических парах, теории регулируемых зубчато-рычажных механизмов.

На подсекции «Общая динамика машин» были рассмотрены доклады, посвященные основным проблемам динамики. В обобщающем докладе С. Н. Кожевников проанализировал состояние исследований в этой области, обратив внимание на основные тенденции развития проблем анализа и динамического синтеза машинных агрегатов с учетом реальных физических свойств отдельных их звеньев. К их числу относятся, в частности, системы,

в которых в процессе работы формируются один или несколько замкнутых контуров, а также системы с несколькими двигателями различного вида, проблемы анализа тяжелых транспортных систем, проблемы динамики систем со многими структурными степенями свободы и динамическими связями. Докладчик рассмотрел также задачи стохастической динамики машин.

П. А. ЛЕБЕДЕВ

В докладе И. И. Артоболевского, А. П. Бессонова и Н. В. Умнова была освещена одна из новых проблем современной динамики машин — теория механизмов шагающего типа. Были рассмотрены требования к рационально спроектированному транспортному устройству шагающего типа и описаны наиболее существенные для шагающих экипажей динамические задачи.

А. Н. Голубенцев сообщил о математических основах теории оптимальных процессов в динамике машин для случаев переходных процессов движения механизмов: рассмотрел проблему оптимизации позиционных координат, характеризующих колебания звена, с целью подавления этих колебаний при переходных процессах и указал некоторые пути ее решения. Он затронул также проблему, сводимую к оптимизации движения звена приведения. В докладе Г. Ф. Морошкина «Уравнения динамики простых систем с интегрируемыми соединениями» была изучена задача об определении реакций в кинематических парах систем с голономными соединениями. В. И. Небеснов и В. Г. Руденко доложили основы общей теории дополнительных перемещений звеньев механизмов с учетом зазоров в поступательных парах. А. Г. Овакимов рассмотрел задачи динамического исследования механизмов с несколькими степенями свободы. О некоторых задачах моделирования движения машинного агрегата с кривошипно-ползунным и с шестизвенным кулисным механизмом доложил Х. Х. Усманходжаев с группой сотрудников. В докладе А. П. Бессонова, В. А. Дубровского, Е. Р. Рахимова и Э. Е. Сильвестрова исследовались некоторые задачи динамики с переменной массой, относящиеся к роторным системам, и в частности к гироскопическим роторам.

На подсекции, посвященной колебаниям в машинах, бо́льшая часть докладов относилась к вопросам динамики вибрацион-

ных и виброударных механизмов, два доклада — к синтезу виброударных систем; отдельные доклады были посвящены вопросам нелинейных колебаний, динамике вибротранспорта и виброподъема, виброизоляции, аналоговому моделированию ударных и виброударных систем и некоторым другим вопросам.

Подсекция «Теория машин автоматического действия» включала несколько докладов проблемного содержания. В докладе, представленном И. И. Артоболевским и А. Е. Кобринским, «Некоторые проблемы построения систем типа робот» были исследованы отдельные задачи, связанные с разработкой манипуляторов и педипуляторов (технических устройств для воспроизведения двигательных функций конечностей человека), а также отмечены важнейшие признаки систем типа робот, дан обзор современного состояния теоретических и практических разработок в этой области и рассмотрены перспективы их дальнейшего развития. В докладе И. И. Артоболевского, Л. В. Петрокаса и Д. Я. Ильинского «Задачи синтеза систем технологических машин автоматического действия» намечены направления исследований: синтез и анализ машин-автоматов, воплощающих прогрессивные технологические и технические принципы; аксиоматизация и формализация синтеза принципиальных схемных решений машин и линий, их циклограмм и конструктивных реализаций; оптимизация синтеза машин и линий по технико-экономическим критериям; разработка методов синтеза автоматических систем управления (в том числе обладающих свойством адаптации); разработка методов синтеза систем автоматического питания и межпозиционного транспортирования.

Л. И. Волчкевич в докладе о развитии теории надежности машин-автоматов отметил, что для машин-автоматов и автоматических линий надежность определяется не только износом и усталостной прочностью, но, в первую очередь, нестабильностью влияющих на работу машин внешних и внутренних факторов, а также невозможностью средствами автоматизации полностью заменить функции человека. Л. Н. Решетов в докладе «О многообразии путей автоматизации» на примере регулятора давления компрессора показал различные пути конструирования устройств автоматизации для управления моторными вагонами и электровозами.

Г. А. Шаумян в докладе «Техническая революция и эффективность автоматизации» указал на характерное для современного уровня развития техники противоречие между тенденциями «массовости» и «быстросменности» производства и осветил ряд вопросов производительности труда в зависимости от различных технико-экономических показателей.

В других докладах были освещены вопросы циклограммирования, теории шаговых систем, некоторые вопросы проектирования различных автоматических систем.

На подсекции «Пневматические и гидравлические системы машин» были подняты почти все важные для машин-автоматов

вопросы теории гидравлических и пневматических систем: гидравлические и пневматические устройства, устройства связи, вопросы взаимодействия механических и гидро-пневматических устройств, вопросы теории насосов и иных гидравлических машин.

В докладе Е. В. Герц «Основные проблемы теории пневматических систем машин» были намечены направления дальнейшего развития этой теории: формализация и машинизация основных уравнений динамики сложных пневматических систем; создание новых и уточнение разработанных методов динамического расчета пневматических систем; упрощение методов расчета на основании обработки серий расчетов пневматических устройств на ЭЦВМ и АВМ; разработка методики экспериментальных исследований пневматических систем с целью определения опытных коэффициентов и расходных характеристик пневматических устройств и систем; расширение разработанных методов расчета на другие виды систем и машин (пневмодвигатели вращательного и поступательного движения, пневмоударные машины, пневмогидравлические и пневмомеханические системы и др.); использование и адаптация методов расчета, разработанных в смежных областях, применительно к исследованию пневматических систем и устройств; проведение и координация работ по сравнительному анализу различных логических элементов и систем управления, а также устройств и систем с различными видами приводов — пневматическими, гидравлическими, электрическими и механическими.

В докладе В. Н. Прокофьева «Гидродинамические передачи» была предложена сравнительная характеристика математических моделей, используемых при расчете гидродинамических передач. В докладе Е. А. Цухановой «Развитие теории циклических гидросистем» рассмотрены вопросы динамики гидросистем и отдельных гидроустройств; для решения проблем анализа и синтеза систем в нелинейной постановке были использованы ЭВМ. Докладчик указал на актуальность создания алгоритмов для комплексной автоматизации расчета и проектирования гидросистем.

Доклады секции «Теория передач в машинах» были посвящены исключительно теории зубчатых зацеплений и зубчатых механизмов. В. А. Гавриленко в докладе «Состояние теории зубчатого зацепления и пути ее дальнейшего развития» остановился на важнейших вопросах теории: синтезе сопряженного зубчатого зацепления, нарушении сопряженности зацепления, геометрии зацепления, кинематике зацепления и теории начальных поверхностей. Н. В. Ковалев в докладе «Основы теории волновых зубчатых передач» изложил историю вопроса, конструктивные особенности типов волновых передач, построение сопряженных профилей и теорию зацепления, кинетостатику зубчатой волновой передачи и некоторые вопросы ее динамики, а также остановился на перспективных проблемах теории. В ряде докладов были затронуты вопросы анализа и синтеза различных плоских и пространствен-

ных зацеплений и зацеплений с переменным передаточным отношением.

А. Ф. Крайнев предложил классификацию трехзвенных планетарных механизмов. В докладе «Выбор типов и параметров планетарных передач» В. Н. Кудрявцев и Р. А. Сакаев указали на многовариантность возможных решений для планетарных передач при одинаковых исходных данных. Поэтому необходима разработка методики выбора схем, при которых могут быть обеспечены наиболее рациональные для конкретных случаев параметры передачи. В докладе М. С. Розовского «О размещении зубчатого механизма в пространстве» для решения многовариантной задачи используются некоторые, весьма общие топологические свойства зубчатого механизма. В результате построение и исследование геометрических образов (схем механизма) заменяется комбинаторным исследованием некоторых множеств элементов и задача сводится к рассмотрению специальным образом составленных комбинаторных схем, т. е. формализуется, что позволяет для ее решения применить ЭВМ.

Мы видим, таким образом, что на современном этапе попрежнему основные интересы теории механизмов и машин направлены на решение комплексных задач, в частности это — динамика технологических машин, а так как последние развиваются в направлении полной автоматизации, то и динамика машин-автоматов и автоматических линий.

Важнейшее место в современной науке о машинах занимает исследование колебательных процессов в самом широком смысле — от теории машин вибрационного и виброударного действия до исследования акустики и шумов и их влияния на человеческий организм; здесь наука о машинах вплотную подходит к инженерной психологии. В качестве математического аппарата она пользуется методами нелинейной механики, теории устойчивости, качественной теории дифференциальных уравнений.

Еще одним ведущим направлением современного учения о машинах является теория роботов и манипуляторов. Здесь пересекаются задачи теории машин автоматического действия, динамики машин, теории структуры, теории пространственных механизмов и кибернетики.

Важное место в области кинематики занимает теория пространственных механизмов, синтез которых все еще изучен недостаточно. Теория пространственных механизмов наиболее «математическая» из всех теорий механики машин и имеет непосредственные выходы в практику.

Специфика задач отдельных научных направлений и необходимость их быстрого развития заставила обратить особое внимание на новые организационные формы информации и взаимного сотрудничества: созываются специализованные совещания, симпозиумы и конференции, издаются сборники, посвященные отдельным проблемам («Механика машин», «Теория механизмов и ма-

шин» и др.). Как уже отмечалось, Первый симпозиум по теории и принципам устройства манипуляторов состоялся в 1965 г. Уже тогда выявились новые области назначения для манипуляторов: космические и глубоководные исследования, работа с радиоизотопами, некоторые технологические процессы.

Второй симпозиум по теории и принципам устройства манипуляторов состоялся в феврале 1968 г. В его задачи входило подведение итогов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных до 1968 г. в области теории манипуляторов. Как указали в своем докладе И. И. Артоболевский и А. Е. Кобринский, к этому времени только применяемые в космической технике «человекоподобные» устройства уже можно было соотнести по меньшей мере к трем группам. Первая — манипуляторы, предназначенные для выполнения работ в космическом пространстве и на поверхности планет; группа эта охватывает как простейшие, так и весьма сложные устройства. Ко второй группе относятся надеваемые на оператора устройства типа экзоскелетон (буквально — «наружный скелет»), имеющие число степеней свободы достаточное, чтобы не стеснять его движений. Третья группа — педипуляторы,— охватывает устройства, предназначенные для воспроизведения или имитирования двигательных функций ног.

На симпозиуме были также заслушаны доклады, в которых речь шла о кинематическом и динамическом анализе манипуляторов, методах их проектирования и управления; ряд докладов относился к вопросам, смежным с биомеханикой: исследовалась синхронность и гетеросинхронность движений нижних и верхних конечностей человека, моделирование некоторых двигательных функций руки человека. Был поднят вопрос о возможности создания и эксплуатации манипуляторов, управляемых от вычислительных машин и обладающих определенной автономией.

В 1970 г. вышла в свет статья И. И. Артоболевского и А. Е. Кобринского «Рóботы», в которой была проанализирована идея автономных машин, автоматически выполняющих ряд двигательных функций[1]. Рассматривая манипуляторы «трех поколений», авторы показывают прогресс в отношении их информационных возможностей. Исходя из определения робота как устройства, предназначенного для искусственного воспроизведения двигательных функций человека, они классифицируют всю совокупность реализуемых человеком движений на три группы: глобальные (объемы которых велики по сравнению с размерами человека), реализуемые нижними конечностями; региональные (соизмеримые с размерами человека), выполняемые крупными суставами верхних конечностей; локальные движения (величины их малы сравнительно с размерами человека), выполняемые кистями рук. Робот должен в какой-то степени обладать всеми этими тремя

---

[1] *И. И. Артоболевский, А. Е. Кобринский.* Роботы. — «Машиноведение», 1970, № 5, стр. 3—11.

типами движений, иначе говоря, представлять собой агрегат манипулятора и педипулятора; совершенный робот, кроме того, должен обладать «органами чувств».

Третий симпозиум по теории и принципам устройства манипуляторов (февраль 1970 г.) характеризовался значительным расширением тематики. Были отмечены три важнейших направления: развитие методов геометрического, кинематического и динамического анализа и синтеза исполнительных механизмов манипулятора; развитие теории и методов расчета и проектирования систем передачи энергии и управляющих сигналов от задающих органов системы к ее исполнительным механизмам, а также систем сбора информации в рабочей зоне и передачи сигналов обратной связи на задающие органы; проблема взаимодействия манипулятора и оператора.

Однако эти направления не исчерпывают всей сложности проблемы. Как указали в своем докладе И. И. Артоболевский и А. Е. Кобринский, уже выяснилась необходимость развивать исследования еще в трех «новых» направлениях: создание промышленных роботов, предназначенных для выполнения определенных технологических операций; обогащение функциональных возможностей искусственных рук за счет оснащения их датчиками, устройствами и системами взаимодействия с окружающей средой (взаимодействие манипулятора с ЭВМ); проблема создания систем и устройств шагающего типа.

В 1972 г. в Москве и 1974 г. в Ленинграде состоялись очередные 4-й и 5-й симпозиумы по теории и принципам устройства роботов и манипуляторов.

В Институте машиноведения также регулярно проходили (под руководством И. И. Артоболевского и А. Е. Кобринского) симпозиумы по динамике виброударных систем. Первый такой симпозиум состоялся в 1964 г. Были выявлены организации и исследователи, которые работали в направлении теории виброударных машин и в родственных направлениях, а также сформулированы основные направления исследований. На Второй симпозиум, состоявшийся в 1966 г., было представлено 19 докладов по широкой тематике исследований. Кроме динамики вибрационных и виброударных машин изучались проблемы виброгашения и виброизоляции, влияния виброударных воздействий на приборы и устройства точной механики, развитие точных и приближенных методов исследования виброударных режимов. На Третьем симпозиуме по динамике виброударных систем (1969 г.) был зачитан 31 доклад.

Доклады были посвящены обширному кругу вопросов исследования периодических и неустановившихся режимов движения, задаче оптимизации режимов движения систем, включающих пневмо- и гидроприводы, динамике двухмассовых и многомассовых виброударных систем, моделированию задач динамики этих систем, виброударному демпфированию колебаний.

Исследования в области динамики виброударных систем привлекли внимание работников научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, вузов, и на Четвертый симпозиум в 1972 г. прибыло более 200 ученых и инженеров, представляющих примерно 100 организаций; было заслушано 52 доклада. Во вступительном слове И. И. Артоболевский остановился на двух основных направлениях в теории вибро- и виброударных систем: создании полезных систем и предохранении человека и техники от вредных воздействий колебательных процессов. Были заслушаны доклады о приближенных и точных методах расчета виброударных систем, об оптимизации рабочих режимов виброударных систем и исследовании различных технологических машин вибрационного и виброударного действия [1].

Седьмое совещание по основным проблемам теории машин и механизмов было созвано в 1974 г. в Тбилиси. По количеству представленных докладов на первом плане по-прежнему оставались работы по динамике машин, теории автоматов (в самом широком смысле) и проблемам синтеза.

Доклад «Синтез механизмов с механическими, гидравлическими и пневматическими элементами», представленный Н. И. Левитским, Е. В. Герц, Г. В. Крейниным и Е. А. Цухановой, был посвящен теории механизмов, наиболее характерных для современного автоматостроения. Авторы расширяют понятие механизма, определяя его как систему тел, предназначенных для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел. Исходя из этого, они систематизируют методы синтеза, показывая, что вне зависимости от состава механизма можно применять тождественные методы синтеза. Таким образом устанавливается единство подхода к решению задач с гидравлическими и пневматическими звеньями, что может облегчить и общую постановку проблемы синтеза механизмов.

С. Н. Кожевников в докладе «Задачи и методы исследования динамических режимов тяжелых машин» говорил о необходимости комплексного исследования динамических процессов в тяжелых машинах, включая переходные процессы в цепях двигателей. Исследование машины как одного целого, с учетом технологических процессов, которые она выполняет, дает возможность разработать новые методы динамического расчета тяжелых машин. Докладчик поднял также вопросы унификации методов экспериментального исследования машин, надежности и долговечности, синтеза и динамического расчета статически неопределимых систем и др.

---

[1] Обращает на себя внимание тенденция, особенно ярко выраженная в последнем десятилетии, перехода от съездов и совещаний к узкотематическим симпозиумам. Тенденция эта противоречива, поскольку отдельные научные направления в своем развитии пересекаются со смежными, а иногда и с весьма удаленными научными теориями. Поэтому потребность в «широких» по своей тематике совещаниях отнюдь не уничтожается, и вопрос может идти лишь об изменении рабочей методики подобных совещаний.

Я. Г. Пановко, обобщивший материалы целого ряда ученых, занимающихся изучением колебательных процессов в машинах, суммировал основные проблемы, возникающие в связи с этими процессами, указал важнейшие направления дальнейшей исследовательской работы в области теории колебаний, выделив две задачи: борьбы с вибрациями и генерирования и использования вибраций. Для решения этих задач необходима схематизация изучаемой системы и, в частности, соответствующий действительности отбор степеней свободы; важное значение приобретают задачи синтеза соответствующих систем.

В докладе Л. В. Петрокаса, Л. И. Волчкевича, Д. Я. Ильинского и И. А. Клусова «Проблемы синтеза машин автоматического действия» важнейшими задачами в этом направлении были названы:

— установление рациональных критериев для выбора оптимальных вариантов систем автоматов и разработка методов описания структур автоматизированных технологических процессов;

— разработка методов синтеза систем машин-автоматов, имеющих высокую технико-экономическую эффективность и возможность переналадки на выпуск различных изделий с прогнозированием их фактической производительности и надежности;

— разработка методов синтеза систем управления, в частности самонастраивающихся, реагирующих на нестабильность параметров технологических процессов;

— создание проблемно-ориентированных языков синтеза и эффективных человеко-машинных систем проектирования оптимальных вариантов систем машин-автоматов.

Сущность синтеза систем машин-автоматов заключается в том, что задача проектирования ставится как задача оптимизации, а сам процесс синтеза разделяется на цепь подпроцессов. Задача рассматривается авторами как сочетание системно-методологических и математических аспектов проблемы синтеза с принципом агрегатного проектирования и с использованием современной электронно-вычислительной техники.

В сообщении К. В. Фролова «Некоторые проблемы динамики систем «человек—машина» был поднят вопрос, ранее находившийся вне проблем теории механизмов, — он и сейчас представляет отдельное научное направление, развивающееся на стыке теории машин, биомеханики и инженерной психологии. Основное внимание автор уделил влиянию вибраций на оператора, входящего в систему «человек—машина».

А. П. Бессонов поставил проблему исследования динамики машин с переменными параметрами и переменной структурой в обобщенном виде: в качестве переменных параметров рассматриваются положения и скорости механизма, а также их производные и инерционные параметры (масса, моменты инерции, положение центра тяжести звена, жесткости упругих элементов, управляемые извне передаточные отношения и т. п.). К обшир-

ной группе механизмов с переменной структурой относятся чрезвычайно разнообразные по своему функциональному назначению механизмы с предохранительными муфтами, храповые, роликовые механизмы свободного хода, инерционно-импульсные, грузоподъемные механизмы с поднастройкой и с зазорами, механизмы манипуляторов и шагающих машин и др. У большой группы подобных механизмов динамическая задача сводится к изучению законов и выбору оптимальных вариантов разрыва и замыкания кинематических цепей; в системах с большим числом степеней свободы, неоднократно изменяющихся, надо находить оптимальные схемы управления их процессом движения.

В. А. Гавриленко в докладе «Задачи синтеза зацеплений и передач» указал, в частности, на необходимость исследования динамики зацеплений и передач.

П. А. Лебедев и Д. С. Тавхелидзе представили доклад, посвященный проблемам теории пространственных механизмов. Были названы основные задачи по разделам: теория структуры, кинематика, статика, динамика, теория точности.

Проблемы акустической динамики машин были рассмотрены в докладе, представленном М. Д. Генкиным, В. И. Сергеевым и Ю. И. Бобровницким. Одним из эффективных методов борьбы с вибрациями может считаться изменение конструкции машинных агрегатов, для чего необходимо экспериментальное исследование, а также разработка соответствующих приборов и аппаратуры. Важное значение в деле виброизоляции имеет изменение конструкции фундаментов машин. Докладчик отметил, что виброакустическими эффектами можно пользоваться для определения состояния машин.

Доклад А. Е. Кобринского был посвящен проблемам механики и управления манипуляторами и роботами. В числе важнейших проблем, стоящих перед исследователями, работающими в этом направлении, А. Е. Кобринский отметил:

— дальнейшее развитие методов структурного, кинематического, динамического анализа и синтеза исполнительного органа («руки»);

— проблема системы «оператор—манипулятор» и связанное с ней развитие теоретических и экспериментальных методов биомеханики и биофизики, направленных на изучение вопросов построения произвольных движений человека и механизмов, управляемых этими движениями;

— вопросы теории и принципов построения информационных каналов, обслуживающих процессы управления движением;

— проблема организации роботизированного производства и развития теории рабочих процессов при их реализации роботами;

— разработка принципов построения методов, систем и средств искусственного очувствления роботов;

— развитие теории, методов и алгоритмов построения двигательных функций роботов;

У. А. ДЖЕЛДАСБЕКОВ

— развитие теории и принципов построения опорно-двигательных аппаратов шагающего тела;

— развитие теории и систем «робот—ЭЦВМ—оператор».

В докладе Е. Г. Нахапетяна были суммированы важнейшие проблемы экспериментального исследования машин и механизмов, в том числе методы натурных исследований и вопросы сочетания натурных исследований с исследованием математических моделей.

Во вступительном и заключительном докладах И. И. Артоболевский подчеркнул важнейшие проблемы, стоящие перед исследователями, показав, насколько вырос диапазон и значение исследований, стоящих «на стыке» наук.

В дискуссиях по докладам указывалось, в частности, на постоянно усиливающуюся математизацию науки, на повышение роли аналитических методов исследования. Это повлияло на учебный курс теории механизмов, который переработан в сторону математизации и введения в преподавание электронно-вычислительной техники (например, в Омском политехническом институте разработана методика курсового проектирования при помощи ЭВМ).

*

За последние годы теория механизмов и машин получила большое развитие в союзных республиках. В Грузии расширилась тематика исследований и были привлечены новые силы. Так, динамикой переходных процессов, их оптимизацией и некоторыми сопутствующими колебательными явлениями начал заниматься Р. Ш. Адамия. С. И. Гамрекели исследовал некоторые вопросы синтеза механизмов, в частности синтез механизмов с изменяемыми звеньями; основные его работы посвящены теории моделирования анализа и синтеза механизмов. В 1971 г. организовался филиал семинара по теории механизмов и машин в Армении. Основное направление его исследований — синтез пространственных механизмов. Там получила значительное развитие теория и практика работы с ЭВМ (работы К. Х. Шахбазяна, Ю. Л. Саркисяна и др.). Азербайджанские ученые исследуют применение поисковых методов оптимизации в синтезе механиз-

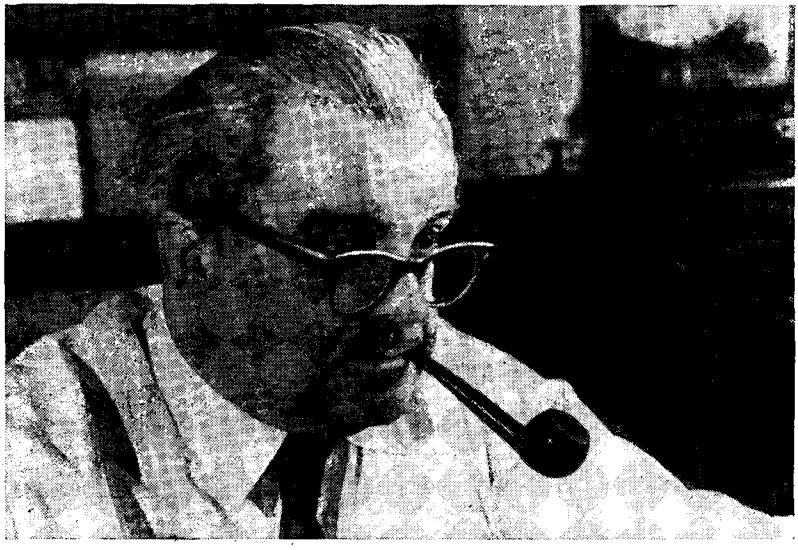
мов к методам проектирования механизмов с выстоем и к синтезу механизмов с заданным относительным движением звеньев.

Х. Х. УСМАНХОДЖАЕВ

В Литве основные исследования проводятся при Каунасском политехническом институте. К. М. Рагульскис исследовал некоторые общие вопросы динамики механизмов, поведение механизмов на вибрирующем основании, периодические и переходные движения, устойчивость механизмов. В 1972 г. в Каунасе состоялся Всесоюзный симпозиум по виброакустическим вопросам. Новый математический метод анализа и синтеза многозвенных механизмов разработал А. И. Ясюленис. В Латвии основные исследования в области теории механизмов и машин проводятся в Елгаве под руководством О. Г. Озола. Некоторыми вопросами динамики механизмов занимается Э. Э. Лавендел (Рига). В Риге проводятся конференции по теории колебаний и по сопутствующим вопросам, включающим теорию вибромашин. В Эстонии Х. Лепиксон проводит исследования в области динамики машин, в частности теории балансировочных машин.

В 1971 г. начали работать филиалы семинара в Казахской, Киргизской и Узбекской союзных республиках. По инициативе руководителя алмаатинского семинара, ректора Казахского университета У. А. Джелдасбекова на механико-математическом факультете университета создана специализация по теории механизмов и машин. Казахские ученые работают над вопросами анализа и синтеза механизмов, а также динамики механизмов, в частности, ими выполнены исследования, направленные на усовершенствование конструкций текстильных машин. Семинар по теории механизмов и машин в Ташкенте работает при Институте механики и сейсмостойкости сооружений. В работах Х. Х. Усманходжаева и его сотрудников решаются вопросы кинематики механизмов с упругими связями и некоторые вопросы динамики машин. Существенные работы были проведены по исследованию, анализу и синтезу механизмов хлопкоуборочных машин.

В 1964 г. при Отделении механики и процессов управления Академии наук СССР был образован Научный совет по теории машин и рабочих процессов под председательством И. И. Артоболевского.



И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ
(1972 г.)

Для И. И. Артоболевского десятилетие 1964—1974 гг. было насыщено напряженной работой. В 1965 г. он опубликовал курс «Теория механизмов», в 1967 г. книга была переиздана. Не прекращает он и педагогической работы: руководит кафедрой и читает курс теории механизмов и машин в Московском авиационном институте. Продолжает исследования в области анализа и синтеза механизмов, занимается теорией машин автоматического действия, разрабатывает новые проблемы в области динамики машин, продолжает историко-научные исследования.

В эти же годы он начинает работать над новым изданием четырехтомного справочника «Механизмы». Первое издание, выпущенное в 1947—1952 гг., содержало около 4000 механизмов и являлось для того времени самым полным справочником этого рода. Первые два тома нового издания, вышедшие в 1970 и 1971 гг., содержали уже 2228 только рычажных механизмов, причем во 2-м томе приводится описание 123 механизмов Артоболевского[1]. Это, например, кулисно-рычажный эллипсограф, кулисно-рычажные механизмы для огибания эллипсов (в трех вариантах), для черчения и огибания эллипсов и гипербол, для огибания софокусных эллипсов (в двух вариантах), для черчения и огибания

[1] *И. И. Артоболевский.* Механизмы в современной технике. М., «Наука», 1971, т. II, стр. 85—285, 491.

эллипсов (в трех вариантах), кулисно-рычажный гиперболограф (в трех вариантах) и т. д.

В 1965 г. за заслуги в развитии механики и в связи с шестидесятилетием И. И. Артоболевский был награжден орденом Ленина. В этом же году он был избран почетным академиком Сербской академии наук и искусств, в 1968 г. — почетным академиком Международной академии истории науки.

За активное участие в пропаганде политических и научных знаний и за плодотворную работу по коммунистическому воспитанию трудящихся он был награжден третьим орденом Ленина, а в 1969 г. за большие заслуги в развитии советской науки ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда, вручена золотая медаль «Серп и Молот» и четвертый орден Ленина.

В 1966 г. И. И. Артоболевский был избран председателем правления Всесоюзного общества «Знание», одним из основателей которого он являлся. Необходимо отметить, что работа в области научной пропаганды и популяризации знаний составляет немаловажную главу в его жизни.

Иван Иванович Артоболевский избирался депутатом Верховного Совета СССР трех созывов, а в 1974 г. он был избран членом Президиума Верховного Совета СССР. Несмотря на большую общественную и научно-организационную деятельность, он продолжает работать над проблемами теории механизмов. В 1973—1975 гг. он издал в переработанном виде два последних тома своего справочника «Механизмы»; в 1975 г. вышло новое издание его учебника под названием «Теория механизмов и машин». 9 октября 1975 г. в связи с 70-летием со дня рождения и 50-летием научной и педагогической деятельности И. И. Артоболевский был награжден пятым орденом Ленина.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ПРЕДСТОЯЩИЕ ЗАДАЧИ

Как будет развиваться теория механизмов и машин в дальнейшем? Какие ее направления окажутся в ближайшие годы особенно важными для народного хозяйства СССР? В какой взаимосвязи они должны быть между собой, с другими направлениями науки о машинах, с отдельными направлениями математического естествознания и техники? Какими исследовательскими методами следует пользоваться? Эти и подобные вопросы, относящиеся к прогнозированию путей дальнейшего развития науки, имеют важное практическое значение.

В наше время техника прогрессирует очень быстро, поэтому теоретические исследования должны обеспечить создание прочного научного фундамента для развития современного машиностроения, науки и техники ближайшего и отдаленного будущего. На протяжении почти сорокалетней работы советской научной школы механики машин, начиная с Первого совещания по основным проблемам теории механизмов и машин, ее руководитель И. И. Артоболевский систематически подводил итоги проделанной работы и намечал задачи дальнейшего развития науки. Приводимые ниже положения основаны на выступлениях И. И. Артоболевского, его заметках и статьях, имеющих отношение к планированию науки. Перечисленные проблемы, естественно, не охватывают всех направлений механики машин и всех прогнозов относительно ее будущего развития. Они лишь дают понятие о некоторых важнейших направлениях исследований. В значительной степени эти проблемы являются комплексными. Так, создание манипуляторов и роботов требует исследования механизмов с несколькими степенями свободы и построения теории структуры подобных механизмов. Проблема глобальных движений роботов — это опять проблема синтеза пространственных механизмов, проблема их структуры и их построения; с ней тесно связана проблема теории передач. Проблемы динамики машин охватывают и весьма сложные задачи динамики тела переменной массы, неголономной динамики, устойчивости движения при разных условиях и динамики специальных технологических роторных машин. Все эти проблемы немыслимы без предварительной подготовки рабочего аппарата — экспериментального, математического и вычислительного.

Теория машин и систем машин автоматического действия. Совершенствование машин-автоматов будет продолжаться в направлении улучшения их экономических показателей с одновременным сохранением эффективности выполняемого технологического процесса и повышения качества продукции. Будут широко применяться механизмы с пневматическими, гидравлическими и электрическими элементами. Увеличится количество автоматов, которые будут обладать свойством самонастройки или адаптивности, позволяющим вести технологический процесс при изменяющихся внешних условиях. Все большее значение получат системы машин, в частности автоматические линии и машинные комплексы, обладающие при этом маневренностью и возможностью легкой переналадки при изменении технологического процесса. В связи с этим важное значение получит разработка следующих методов и научных теорий:

— синтеза механизмов с механическими, пневматическими, гидравлическими, электрическими и электронными элементами;

— вероятностного и структурно-логического анализа и синтеза систем машин автоматического действия с учетом их производительности, эффективности, надежности, качества продукции, экономичности, точности действия;

— выбора оптимальных схем систем машин и машин-автоматов;

— самонастраивающихся и адаптирующих систем машин автоматического действия;

— методов управления машинами-автоматами и системами машин автоматического действия.

— методов автоматического измерения и контроля в условиях автоматического производства.

Динамика машин. Проблема динамики машин является чрезвычайно широкой, так как в значительной степени пересекается с проблемами теории машин-автоматов и анализа и синтеза механизмов. Основные требования к машинам будущего, с учетом роста их энергетических, силовых и скоростных характеристик, — это повышение их экономической эффективности, оптимизация системы «человек—машина», повышение их безопасности. В связи с этим особое значение получает разработка следующих научных проблем:

— методов исследования динамических режимов движения быстроходных и энергоемких машин и систем машин;

— динамики машин с переменными параметрами и с переменной структурой;

— динамики плоских и пространственных механизмов с одной и несколькими степенями свободы;

— методов и средств технической диагностики машин;

— создание автоматической измерительной аппаратуры для экспериментального изучения характеристик работы машин и механизмов разного функционального назначения.

Колебательные процессы в машинах. Колебательные процессы в машинах и их исследования являются неотъемлемой частью динамики машин. Однако специфические особенности вибраций, с одной стороны — используемых в механических, энергетических и технологических целях, а с другой — вредно отражающихся на работе машины и на ее ближайшем окружении, в самом широком смысле этого слова, в том числе и на операторе, заставляют отнестись к ним с большим вниманием. В сущности выявляются три проблемы: вибрационной техники, машин виброударного действия и виброзащиты человека. Здесь можно наметить следующие исследовательские направления:

— разработка методов исследования сложных колебательных процессов в машинах:

— преобразование вибраций в полезные виды энергии и создание новых технологических процессов, основанных на явлении колебания;

— изучение влияния вибраций на организм человека и разработка методов и средств вибрационной защиты;

— развитие акустической динамики машин с целью улучшения акустических характеристик машин и систем машин.

Манипуляторы и роботы. Эта проблема имеет два аспекта: заменить человека там, где он не может присутствовать из-за угрозы его здоровью или жизни или не в состоянии выполнить требуемый технологический процесс, чему мешает, например, скорость конвейера, мелкость деталей и т. п. С этими двумя аспектами создания «человекоподобных» машин в определенной связи находится проблема шагающих машин. Поставленная еще Чебышевым и развитая затем в практике шагающих экскаваторов, она в последнее время приобретает все большее значение. Здесь перед исследователями стоит много задач, начиная от вопросов механики и кончая разработкой искусственного интеллекта.

В области механики проблема заключается в исследованиях по сравнительному анализу и синтезу различных схем механизмов, по их кинематике и динамике. Следует разработать численные и аналитические методы решения уравнений движения исполнительных органов роботов и манипуляторов. Важна также проблема разработки приводов, отвечающих специальным требованиям, вытекающим из конструктивных особенностей и функционального назначения роботов: низкоскоростных, малогабаритных и высокомоментных. Аналогичной является проблема разработки принципов и систем управления исполнительными органами манипуляторов и роботов.

Существенное место в создании роботов второго и третьего поколения занимает проблема их очувствления, разработка принципов управления сбора и обработки информации о состоянии самого робота и окружающей его среды. Очувствление роботов и реализация возможностей искусственного интеллекта требуют

специальной организации вычислительных процессов, разработки принципов построения бортовых и стационарных вычислительных управляющих комплексов, рационального распределения функций между различными уровнями этих комплексов, а также между бортовой и стационарной частями, создания специализированных предпроцессоров для предварительной обработки сенсорной информации и эффекторных постпроцессоров для рациональной организации рабочих действий робота, разработку системы общего и специального математического обеспечения вычислительных управляющих комплексов. К этой проблеме примыкают проблема взаимодействия робота со средой и проблема взаимодействия между человеком и роботом.

Проблемы создания автоматических локомоционных систем. Существенной проблемой является обеспечение способности роботов к перемещению. Наибольшие возможности в этом направлении имеют интегральные локомоционные роботы, объединяющие способность к автономному функционированию со способностью работать в рамках дистанционного управления оператором (супервизионное управление).

Проблема создания автоматических локомоционных систем, в том числе передвигающихся с помощью конечностей, объединяет широкий круг вопросов: выбор и проектирование движителей, разработку легких и мощных приводов с высоким к. п. д., легких и мощных источников питания, навигационных и измерительных устройств для сбора информации о местности, специализированных бортовых ЭВМ. Сюда также относится задача разработки экзоскелетонов, предназначенных для повышения силы и выносливости человека, а также для воссоздания двигательных возможностей у людей с повреждениями опорно-двигательного аппарата.

Роботы по своей структуре и функциональным характеристикам во многом копируют поведение человека и животных, поэтому представляет интерес развитие исследований по биомеханике и физиологии. Проблема предусматривает изучение биомеханических характеристик опорно-двигательного аппарата человека и животных, физиологических процессов, лежащих в основе управления произвольными и автоматизированными движениями, изучение роли вестибулярной, зрительной и кинематической информации в пространственной ориентации и обеспечение устойчивости.

Для успешного выполнения этих проблем важное значение приобретает проблема моделирования и проектирования роботов и их элементов. Разработка методов математического моделирования роботов и условий их функционирования позволит получать оптимальные конструкции и системы управления применительно к назначению создаваемых роботов. Для этого должны быть развиты также системы проектирования роботов, включая машинные методы проектирования.

*

Механика машин была первой по времени своего становления прикладной наукой, порожденной промышленным переворотом XVIII в. Последующие полтора с лишним столетия принесли с собой поток информации и размножение наук, в частности, число наук о машинах к настоящему времени достигло трехзначной цифры. Вместе с тем существуют старые проблемы и постоянно возникают новые, которые являются общими для всего машиноведения и которые ни одна из конкретных наук о машинах решить не в состоянии: образно выражаясь, здесь поле битвы остается за теорией механизмов и машин. До тех пор, пока человечество пользуется машинами (а оно, по всей видимости, отказываться от машин в обозримое будущее не собирается), теория механизмов и машин в сумме человеческого знания будет занимать свое определенное место.

В одной из публицистических статей, адресованных молодежи, И. И. Артоболевский писал: «Самое главное в воспитании научной молодежи — это развитие самостоятельности и творческой мысли. Научиться и научить творчеству можно. Что нужно для этого? Бесспорно — много знать... Наверное, не стоит бояться «изобрести велосипед». Пусть это будет нечто давно известное, но свое, по-новому увиденное.

Самое главное для творческого человека — это уменье наблюдать явления природы, знать механизм происходящих в ней процессов и переносить это знание в мир техники. Своими руками собрать, сделать то, что «подсмотрел» у живого мира. Человек должен быть умельцем» [1].

В последние годы в печати обсуждался вопрос о сущности понятия «научная школа», было выработано определение этого понятия, объединяющее в себе единство руководителя, исследовательской тематики и преемственности идей. В нашем конкретном случае тематикой является вся наука о машинах со всеми ее возможными выходами. Речь идет о научной школе, которая смогла объединить всех ученых в области науки о машинах в масштабе всей нашей страны. И в этом наибольшая заслуга руководителя школы Ивана Ивановича Артоболевского.

---

[1] *И. И. Артоболевский.* Не бойтесь дерзать. — «Комсомольская правда», 11 мая 1974 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

Глава первая
РУССКАЯ ШКОЛА МЕХАНИКИ МАШИН 5

Глава вторая
СТАНОВЛЕНИЕ УЧЕНОГО. ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 21

Глава третья
ОРГАНИЗАЦИЯ СОВЕТСКОЙ ШКОЛЫ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ . . 52

Глава четвертая
ПРЕДВОЕННЫЕ ГОДЫ И ВЕЛИКАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ВОЙНА . . 66

Глава пятая
ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ. НАЧАЛО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ 94

Глава шестая
СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД 150

Глава седьмая
ПРЕДСТОЯЩИЕ ЗАДАЧИ 170