

**ГРУНАУЭР А. А.**, д.т.н., проф., заведовал кафедрой ТММ ХПИ с 1968 по 1991 год

## **ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН: НАУКА И ЛЮДИ. ВОСПОМИНАНИЯ И РАЗДУМЬЯ**

Мое первое знакомство с кафедрой теории механизмов и машин ХММИ ХПИ состоялось весеннем семестре 1940-1941 учебного года. Правильнее, наверное, сказать, что в предвоенном семестре 1940-1941 учебного года.

Кафедрой тогда заведовал проф. Я. М. Майер. Он же читал лекции нашему потоку. К этому времени под его руководством был создан и в дальнейшем запущен в производство двигатель В-2, ставший сердцем непревзойденной тридцатьчетверки. По понятным причинам, я узнал об этом значительно позже.

Более раннюю историю кафедры я знаю мало. Помню только, что до 1940 года кафедрой заведовал проф. И.Е. Любарский, о научных интересах которого я узнал из специального номера институтской многотиражки “За кадры”, выпущенного к 55-летию юбилею института. В этом номере был помещен дружеский шарж на многих преподавателей. В частности, профессору Любарскому были посвящены следующие строки:

“...но, говорят, в его труде о механизмах планетарных  
есть пункт один весьма забавный – двухсотпроцентный КПД...”

Так весьма забавно отреагировал студенческий поэт на действительно забавное свойство планетарных механизмов: при некоторых значениях передаточного отношения они могут иметь КПД выше, чем КПД соответствующего обращенного механизма, но, конечно же, не выше 100%. После сдачи зачета по ТММ за 4-й семестр и остальных полагававшихся экзаменов мне, как и многим студентам, пришлось отложить учебу на время войны.

Когда в 1945 году я продолжил изучение курса ТММ, кафедрой заведовал доц. Ю.В.Эпштейн, человек очень эрудированный и энергичный. Именно благодаря этим качествам в ХММИ была восстановлена и значительно расширена учебная лаборатория, создан кабинет курсового проектирования, оборудованный чертежными комбайнами, создана база для проведения научных экспериментов.

Очень большое внимание уделялось на кафедре изучению и освоению сотрудниками новых для того времени методов измерения и регистрации неэлектрических величин электрическими методами, разработке оригинальных датчиков – преобразователей. Лабораторные работы, выполнявшиеся на кафедре, были связаны с основными разделами курса. Проектировал и “пробивал” их изготовление на опытном заводе ХПИ инженер кафедры, опытный конструктор, А. Д. Мукоед. Выполнены они были настолько удачно, что некоторые из них начали выпускаться МВО СССР. К сожалению,

которые из них начали выпускаться МВО СССР. К сожалению, модель для демонстрации различных схем уравнивания главного вектора сил инерции кривошипно-ползунного механизма осталась уникальным экспонатом только в ХПИ.

Еще в предвоенные годы на небосводе ТММ начала восходить звезда первой величины И. И. Артоболевский, который в 1946 году был избран действительным членом АН СССР. Именно Артоболевский извлек из забвения работы Л. В. Ассура по структуре, кинематике и кинестатике плоских механизмов и коренным образом изменил изложение этого раздела курса ТММ в своем классическом учебнике издания 1940 г. Например, решение задач исследования механизмов с четырехзвенными группами изложено здесь с использованием “особых точек Ассура”. Эта же задача в учебнике Х. Ф. Кетова и Н. И. Колчина издания 1939 года решается значительно более сложным методом “ложных положений”.

Долголетняя работа по использованию и развитию основополагающих для ТММ идей Л. В. Ассура получила завершение в 1991 году, когда в официальную терминологию был внесен термин “группа Ассура”.

Однако вернемся в ХММИ. Ю.В.Эпштейн был горячим сторонником использования идей Л. В. Ассура, которые послужили базой для разработки общих методов исследования плоских механизмов. На основе этих методов и читался в ХММИ, а затем в ХПИ, курс ТММ. Естественно, что за истекшие полвека появились новые технические возможности, и инженер сменил логарифмическую линейку на персональный компьютер, но общий подход к решению задачи сохранился.

Бурное развитие вычислительной техники, начиная с 70-х годов прошлого века (подумать страшно, какими единицами измерения приходится пользоваться), позволило заменить графические методы решения многих задач ТММ аналитическими, для чего потребовалось разработать доступные для инженера-механика алгоритмы и показать возможность их реализации на имеющихся ЭВМ.

Например, для решения упоминавшихся выше задач кинематики плоских механизмов удобным оказался метод проектирования планов скоростей и ускорений на координатные оси. Его применение для механизмов с двухзвенными группами Ассура было опубликовано еще в 1980 году. Этот метод вызвал большой интерес работников кафедр ТММ Советского Союза, и для его распространения была использована существовавшая тогда система приглашения специалистов в ВУЗы страны. В течение 1981-1993 г. г. я побывал в 13 городах в пределах от Владивостока до Львова и от Ижевска до Алматы, где читал лекции преподавателям и студентам.

В эти годы компьютеры на кафедрах ТММ были редкостью и, чтобы обеспечить решение студентами хотя бы простых задач, были разработаны программы для микрокалькуляторов, разрабатывались также программы и для ПК на языках Бейсик и Паскаль.

Завершением работ в этом направлении было обобщение метода “проект-

тирования планов” на группы Ассура с числом звеньев более двух. Эти результаты были доложены мной в 1995 г. на 9-м Всемирном конгрессе в Милане, опубликованы в журнале и использованы на кафедре Технического Университета Кайзерслаутерн для решения задачи кинематики робота типа “паук”.

Значительным успехом кафедры следует считать разработку метода исследования установившегося движения машинного агрегата с учетом механической характеристики электродвигателя, связывающего таким образом расчеты “механических” и “электрических” процессов.

Во всех учебниках ТММ, изданных до 1994 г., при изложении этого раздела делается необоснованное допущение о постоянстве момента двигателя, которое приводит к значительной погрешности результатов расчета. Впервые на необходимость учитывать зависимость момента электродвигателя от скорости вращения его вала указал М. А. Скуридин. Однако сложность полученных им формул затрудняла его практическое применение. Доц. В. П. Изюмскому и ст. пр. В. П. Заблоцкому удалось найти более простое и, тем не менее, более точное решение, которое в дальнейшем успешно использовалось при чтении лекций и в курсовом проектировании.

Отмечу, что если не учитывать связи между процессами различной физической природы, имеющими место при работе сложных технических систем, можно столкнуться с качественно неожиданными и потому опасными процессами, вызывающими аварии, а подчас и катастрофы. К числу таких явлений относятся флаттер и шимми в авиации, обменные колебания при работе нескольких дизельгенераторов на общую сеть. С этой проблемой мне пришлось столкнуться чисто практически. Есть основания полагать, что Чернобыльская катастрофа является результатом вывода сложной физической системы, в которой протекают ядерные, электрические и механические процессы, на нерасчетный режим, оказавшийся неустойчивым.

В научном плане работа кафедры испытывала влияние двух крупнейших на Украине специалистов в области ТММ: проф., доктора физ.-мат. наук Я. Л. Геронимуса и чл. корр. АН УССР, проф. д.т.н. С. Н. Кожевникова.

Проф. Я. Л. Геронимус добился открытия в Харькове филиала семинара по ТММ института Машиноведения АН СССР. Заседания Семинара проходили регулярно на кафедре ТММ ХММИ, а затем и ХПИ. На них заслушивались доклады работников институтов и заводов Харькова и других городов. Руководителем семинара с момента его основания в 1944 г. до 1981 г. был проф. Я. Л. Геронимус, который отличался глубокими знаниями математики, теоретической механики и ТММ. Меня всегда поражала его способность выделить главную идею и физический смысл докладываемой работы, очистить ее от словесных и математических украшений.

Очень важным средством развития и распространения научных идей в области ТММ в пределах Украины, Союза и за рубежом была организация Республиканского межведомственного научно-технического сборника

“ТММ”, в редакционную коллегию которого входили крупнейшие в этой области знаний специалисты Украины.

Редакторами сборника с момента его основания в 1966 г. и до 1994 г. последовательно были Я. Л. Геронимус, С. Н. Кожевников и автор этих строк. Заседания редакции сборника проводились попеременно на кафедрах различных ВУЗов Украины, что позволяло расширить объем полезной информации, получаемой как “гостями” так и “хозяевами”. Работа в редакции сборника позволила мне познакомиться с характером “инженерного мышления” С. Н. Кожевникова, который блестяще доводил свои теоретические выкладки до прикладных решений, включающих конструктивные, эксплуатационные и технологические, а подчас и монтажные требования к машине. Все это было возможно благодаря сочетанию глубокого знания математики, механики и практическому опыту как на уровне инженера, так и рабочего.

Именно работы С. Н. Кожевникова дали начальный толчок к решению задачи оптимального синтеза кулачковых механизмов. В этом случае задача содержит как вариационную для определения профиля кулачка, так и параметрическую часть, и осложняется тем, что сила сопротивления зависит от волновых гидродинамических процессов в трубопроводе между насосом и форсункой, а следовательно, и от скорости толкателя. В ходе решения должны быть учтены требования рабочего процесса дизеля, ограничения эксплуатационного, технологического и прочностного характера.

Эти работы выполнялись А. Л. Григорьевым, А. А. Зарубиной, И. М. Вештаком, С. И. Королем при участии доц. И. И. Тартаковского, ст. н. с. Р. А. Ланис и В. Н. Погарского. Они получили свое завершение в докторской диссертации А. Л. Григорьева в 2004 г.

Я хорошо запомнил высказывание Я. Л. Геронимуса, что наилучшим решением технической задачи является решение с помощью четырех действий арифметики. Мне всегда казалось, что наиболее красивым является результат научной работы, легко проверяемый “на пальцах”. Примером этому может послужить дискуссия о характере сил трения в регуляторах скорости дизелей.

К 40-м годам были известны две математические модели системы прямого регулирования, описанные Н. Е. Жуковским и И. А. Вышнеградским. Первый основывался на допущении, что в механизме регулятора действуют силы сухого трения. Второй учитывал только силы вязкого трения. Работы, выполненные в этом направлении под руководством акад. В. Н. Жолтинского, основывались на теории Н. Е. Жуковского. Отсюда вытекало, что рейка топливного насоса должна быть неподвижна, когда колебания нагрузки на двигатель не выходят за пределы “зоны застоя”.

Во всех работах ЦНИДИ использовалась теория И. А. Вышнеградского. В этом случае система регулирования линейна, и “зона застоя” в ней отсутствует.

Тщательные эксперименты, показали, что даже при постоянной нагрузке рейка совершает высокочастотные колебания. Демонстрация В.Н. Жолтинскому этого явления на стенде ЛТКД вызвала у него недоумение и сомнение в “чистоте” эксперимента. Сомнения были рассеяны, когда я, рискуя, конечно, пустить двигатель в разнос, прижал пальцем рейку к корпусу насоса и полностью погасил ее колебания, что тотчас отметил “зайчик” на экране осциллографа. Этот простейший эксперимент однозначно определил необходимость использовать для исследования систем регулирования быстроходных дизелей теорию И. А. Вышнеградского.

Еще одна исследовательская работа, в которой я принимал участие, имела не только “красивый”, но и поучительный результат. В середине 60-х годов, ХТЗ стал получать рекламации, связанные с поломками ВОМ трактора новой модели при работе с дождевальными машинами. В те годы газеты были полны статьями о поливном земледелии, и тут – на тебе, – необъяснимые поломки вала привода дождевальной машины. И, самое неприятное, что их не очень много, и закономерность их появления непонятна. Но они повторяются, и излом всегда носит четко выраженный усталостный характер. Завод обратился к ХПИ с просьбой найти причину поломок и дать рекомендации по их устранению.

Проверка заводских расчетов на усталостную выносливость показала их полную безупречность. Затем перешли к экспериментальному определению напряжений на опасном участке вала. Завод выделил для этой цели новый трактор, на кафедре тракторостроения его оборудовали необходимыми средствами измерений и стали искать опасный режим работы с дождевальной машиной. Но как мы ни старались, мы не могли найти этот режим.

После долгого и напрасного перевода осциллографической бумаги, наступил день, когда потек сальник дождевальной машины, и ее понадобилось разобрать. Естественно, что был разобран и карданный привод, соединяющий ВОМ с дождевальной машиной. После ремонта все было собрано заново, и вдруг, о радость, осциллограф показывает примерно 5-ти кратную перегрузку ВОМ моментом, изменяющимся по синусоиде с частотой, равной удвоенной частоте вращения вала. Значит перегрузка – это результат неправильной сборки карданного привода. И тут только мы обратили внимание, что его среднее звено было выполнено из двух труб квадратного сечения, вставленных одна в другую так, что они могли передавать крутящий момент и изменять расстояние между вилками кардана, закрепленными на концах этих труб, то есть работать как упрощенное шлицевое соединение. Но такая конструкция допускала два варианта сборки кардана: либо так, что вилки на среднем звене параллельны между собой, либо так, что они скрещиваются под углом 90°. Первый вариант сборки обеспечивает нормальную работу механизма, второй превращает его в генератор крутильных колебаний, которые и приводили к поломкам более слабого ведущего вала.

Поэтому выводы по всей теме содержали только одно предложение: следует заменить квадратное сечение промежуточного звена на прямоуголь-

ное, исключая возможность неправильной сборки.

Можно было бы, конечно, на упаковочных ящиках дождевальных машин писать: «ПЕРЕД СБОРКОЙ ПРОЧИТАЙ ИНСТРУКЦИЮ», но кто же такие надписи, а тем более, инструкцию, читает).

Подводя итоги, можно сказать, что у каждого в жизни свой критерий удачи. Мне кажется, удачное завершение избранной или порученной работы и есть высшая удача независимо от области деятельности и занимаемой должности.

Не меньшее удовлетворение, чем от описанных выше научных работ, я получал от обнаруженной причины аварийной остановки турбины, и от ремонта тяжелого дизеля, и от того, что удалось выручить неопытного мотоциклиста, запустив двигатель его мотоцикла или от того, что мне поручили выточить первую на заводе макетную гильзу двигателя В-2.

...Такие воспоминания и раздумья посетили меня, когда в этом году родная кафедра обратилась с просьбой поделиться ими с дорогими моему сердцу политехниками, поздравляя их со 120-летием ХПИ и 85-летием кафедры ТММ.