

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



СЕРИЯ "НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА"

Основана в 1959 году

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ  
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ  
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ РАН  
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

*А.Л. Янин* (председатель),  
*Э.Н. Мирзоян* (зам. председателя),  
*В.М. Орел* (зам. председателя),  
*З.К. Соколовская* (ученый секретарь),  
*Е.А. Беляев*, *В.П. Борисов*, *В.П. Визгин*,  
*В.Л. Гвоздецкий*, *А.А. Гурштейн*, *С.С. Демидов*,  
*Г.М. Идлис*, *Э.И. Колчинский*, *В.И. Кузнецов*,  
*Н.К. Ламан*, *Б.В. Левшин*, *К.В. Манойленко*,  
*А.В. Постников*, *В.Н. Сокольский*, *Ю.И. Соловьев*,  
*Ю.Я. Соловьев*, *М.Г. Ярошевский*

*А. Н. Боголюбов  
Е. Я. Антонюк  
С. А. Федосова*

**Сергей Николаевич  
КОЖЕВНИКОВ**

**1906 - 1988**

Ответственный редактор  
доктор технических наук  
А. П. БЕССОНОВ



---

МОСКВА  
«НАУКА»  
1998

УДК 621.01/03(929) С.Н. Кожевников  
ББК 34.4г  
Б 73

Рецензенты:  
академик НАН Украины В.Н. КОШЛЯКОВ,  
доктор физико-математических наук В.Б. ЛАРИН

**Боголюбов А.Н., Антонюк Е.Я., Федосова С.А.**

Сергей Николаевич Кожевников. 1906–1988. – М.: Наука, 1998. – 236 с., ил. – (Научно-биографическая литература)  
ISBN 5-02-003676-5

Книга посвящена жизни и научно-педагогической деятельности крупного ученого в области механики машин, члена-корреспондента Национальной академии наук Украины Сергея Николаевича Кожевникова – основателя принципиально нового научного направления в области механики машин – нестационарной динамики машин с реальными физическими свойствами привода и звеньев. В книге отражен его вклад в учение о структуре и синтезе механизмов, создание методов экспериментального исследования машин, биомеханику и другие разделы механики, показаны его педагогическая и изобретательская деятельность, научно-организационная и общественная работа, его роль как научного лидера в создании на Украине школы в области динамики машин, получившей мировое признание.

Для специалистов в области механики машин, преподавателей, студентов и всех, кто интересуется отечественной историей науки и техники.

ТП-97-1-167  
ISBN 5-02-003676-5

- © А.Н. Боголюбов, Е.Я. Антонюк, С.А. Федосова, 1998
- © Российская академия наук и издательство "Наука", серия "Научно-биографическая литература" (разработка, составление, художественное оформление), 1959 (год основания), 1998

## Предисловие

Сергей Николаевич Кожевников широко известен как выдающийся ученый в области механики машин, заложивший основы принципиально нового научного направления – нестационарной динамики машин с реальными физическими свойствами звеньев привода (упругостью, нелинейными характеристиками) и учетом процессов в электрических, гидравлических и других подсистемах. С начала 40-х годов XX в. он руководил созданной им на Украине научной школой по динамике машин, получившей широкое признание не только в СССР, но и во многих странах мира.

Значительный вклад внес С.Н. Кожевников в развитие теории структурного анализа и синтеза механизмов, биомеханику, экспериментальные методы исследования динамики тяжелых машин, кинематику и другие разделы механики машин.

В своей деятельности С.Н. Кожевников умел выходить за рамки чисто научных задач, привлекая результаты их решения для изобретательской и проектной работы, направленной на совершенствование уникальных тяжелых машин с целью повышения их технического уровня, что давало огромные материальные выигрыши для производства. Именно за такую комплексную работу он с группой учеников был награжден Государственной премией СССР.

Научные результаты С.Н. Кожевников доводил до сведения научной общественности путем издания многочисленных монографий и статей. Кроме того, он занимался организацией регулярно работавших Киевского и Днепропетровского семинаров по теории машин и механизмов, выступал с лекциями перед сотрудниками научных и проектно-конструкторских организаций, коллективами промышленных предприятий.

Большое значение Кожевников придавал педагогической деятельности. Он преподавал и заведовал кафедрами в Московском авиационном и Московском авиационно-технологическом институтах, Днепропетровском металлургическом институте, Киевском институте инженеров гражданской авиации, Украинской сельскохозяйственной академии.

С.Н. Кожевников создал широко известный учебник по теории машин и механизмов, пользующийся огромной популярностью, переведенный на несколько иностранных языков и изданный в ряде стран за рубежом. Им подготовлено свыше 80 докторов и кандидатов наук.

Много сил отдавал С.Н. Кожевников редакторской деятельности в качестве ответственного редактора, заместителя ответственного редактора, члена редколлегии различных научных сборников и журналов.

С.Н. Кожевников был членом многих научных советов, включая советы по присуждению ученых степеней, активно работал в Международной федерации по теории машин и механизмов, являясь ее почетным членом.

При написании книги авторами были использованы как литературные источники, оригиналы публикаций С.Н. Кожевникова, так и многие архивные материалы, включая автобиографические заметки и записки Сергея Николаевича, воспоминания его учеников и коллег.

Авторы выражают признательность Л.И. Цехновичу и О.Н. Кукушкину за предоставленные материалы о днепропетровском периоде жизни и деятельности С.Н. Кожевникова, благодарны жене Сергея Николаевича – Людмиле Константиновне Островской, его сыну – Юрию Сергеевичу и сестре – Ларисе Николаевне Кожевниковым, поделившимся воспоминаниями и предоставившим материалы из семейных архивов.

Авторы благодарны А.Т. Забуге и всему коллективу отдела динамики сложных систем Института механики Национальной академии наук Украины, выполнившим большой объем работ по технической подготовке рукописи.

**Семья. Детство. Учеба.**  
**Московский индустриально-педагогический**  
**институт им. К. Либкнехта**

Сергей Николаевич Кожевников родился 23 сентября 1906 г. в г. Екатеринославе (Днепропетровске) в семье рабочего Брянского металлургического завода (в настоящее время – Днепропетровский металлургический завод) Николая Ивановича и Олимпиады Ефимовны Кожевниковых.

Дед, Иван Иванович Кожевников, и бабушка, Наталья Ивановна Кожевникова, со стороны отца были мещане, уроженцы г. Трубчевска. Иван Иванович был мелким торговцем, разорившись, работал на Брянском металлургическом заводе. Умер он рано, оставив Наталью Ивановну с пятью детьми.

Наталья Ивановна была грамотной, интересовалась политикой, читала газеты, была убежденной монархисткой. После смерти Ивана Ивановича, кормильца семьи, она стала шить. Финансовые трудности вынудили семью отдать тогда еще четырнадцатилетнего сына Николая на металлургический завод. Сначала "мальчик для битья", подмастерье, Николай Иванович вырос со временем в валцтокаря 9-го разряда, мастера цеха, очень уважаемого в рабочей среде. Умер он в 1930 г. в возрасте 47 лет от туберкулеза легких, которым болел с юности.

Дед, Ефим Антипович Захаренков, и бабушка, Прасковья Ивановна Жидра, со стороны матери были крестьяне. Прасковья Ивановна, уроженка с. Бежицы Брянской области, крепостная и неграмотная женщина, вела домашнее хозяйство, а Ефим Антипович, имея лишь начальное церковно-приходское образование, стал впоследствии главным механиком Брянского металлургического завода, известным и видным человеком в Екатеринославе, куда он переехал вместе с семьей из Брянска в связи с открытием металлургического завода. У Ефима Антиповича и Прасковьи Ивановны было 15 детей, из них выжили 10. Все сыновья оказались очень способными людьми. Особенно выделялся старший сын, Иван, талантливый механик. Самая младшая дочь, Матрена, окончила гимназию, Бестужевские курсы в Петрограде, стала специалистом в области физико-математических наук.

Прасковья Ивановна была большой подвижницей: родив 15 детей, поставила "на ноги" десятерых, достраивала второй этаж дома, кото-



**Олимпиада Ефимовна  
Кожевникова**

ливая бабушка Прасковья Ивановна, неугомонная добрая мать. Олимпиада Ефимовна окончила акушерские курсы, затем фельдшерские, а уже в 1927 г. за полтора года, экстерном, досдала необходимые экзамены и получила диплом врача, стала специалистом в области малой хирургии. В годы первой мировой войны она работала фельдшером, возила подарки в армейские части на фронт, в Румынию. Она постоянно занималась самообразованием и необходимость этого стремилась передать детям. Николай Иванович поддерживал желание Олимпиады Ефимовны учиться, дать детям образование. В семье гармонично и естественно сочетались простая рабочая среда и интеллигентная атмосфера, здесь любили книгу, была небольшая библиотека. Среди книг было полное собрание сочинений Л.Н. Толстого, стихи Никитина, любимого поэта Николая Ивановича. Многие стихи Никитина заучивали наизусть; выписывали журналы "Нива", "Пробуждение". Выбором книг руководила в основном мать: она научила детей любить книгу, видеть в ней друга и помощника. Николай Иванович, великолепно игравший на гитаре и увлекавшийся художественным свистом, сам учил мальчиков игре на мандолине, вечерами они вместе музицировали и пели.

У братьев с детства проявились математические способности, и для поступления в гимназию их готовили дома и в частной школе.

рый приобрел Ефим Антипович для семьи на 4-й Чечелевке. Дочерей выдавала замуж в 16-17 лет, чтобы не остались "вековухами".

Родители Сергея Николаевича обвенчались в 1902 г., Николаю Ивановичу было тогда 19 лет, а Олимпиаде Ефимовне 17 лет. Познакомились они в доме отца Олимпиады Ефимовны: Николай Иванович Кожевников, рабочий Брянского металлургического завода, часто бывал в гостях у лучшего мастера этого же завода Ефима Антиповича Захаренкова, да и жил он в доме по соседству.

В Екатеринославе, на 4-й Чечелевке, семья Кожевниковых начала расти: в 1903 г. родился старший сын Юлиан, в 1906 – Сергей, затем в 1909 г. – дочь Лариса. В памяти Сергея Николаевича сохранились большой двор, игры со старшим братом, хлопот-



В 1912 г. Юлиан был определен в 1-й класс реального училища, спустя год начал учиться Сережа. Родители и педагоги, готовившие детей к учебе, считали Сережу более способным, чем Юлиан, поэтому его определили в 1-ю Екатеринославскую классическую гимназию. Основное внимание здесь уделяли русскому и латинскому языкам, преподавали греческий, немецкий языки. Любимыми предметами Сережи стали география и естественная история; значительный интерес вызывали алгебра и особенно геометрия.

Начало войны 1914 г. нарушило сложившийся уклад жизни, а грянувшие за нею Октябрьская революция 1917 г., гражданская война вновь изменили его: пришлось прекратить учебу в гимназии. В трудные годы разрухи, полуголодного существования, когда в семье почти все переболели брюшным тифом, Сережа стал надежным помощником матери, добытчиком топлива: он собирал, как тогда говорили, "шкраб" – кусочки кокса и отходов паровозных топок. Всегда собранный, ответственный в своих поступках, он стал общим любимцем, особенно матери.

В гимназии Сережа проучился 3 года и часть четвертого класса. К концу 1918 г. гимназии были преобразованы в единые трудовые школы, и в 1918–1920 гг. он – ученик трудовой школы Екатеринослава. Лишь к 1922 г. город, сначала оккупированный немецкими войсками, затем занятый добровольческой армией Деникина, гайдамаками Петлюры и наконец Красной армией, начал жить мирной жизнью. Закончилась безработица, возобновил работу Брянский металлургический завод, куда вернулся Николай Иванович. Традиции семьи определили дальнейшую судьбу Сергея Николаевича – в 1922 г. он поступил учеником слесаря в Фабрично-заводское училище Брянского металлургического завода. Закончил он его в 1925 г. слесарем 4-го разряда.

В годы учебы в училище разносторонний и увлекавшийся Сережа – солист оркестра струнных инструментов, организатор и руководитель авиакружка, председатель ячейки рабочих-металлистов, продолжал активно изучать математику, языки, литературу, готовил себя к продолжению учебы в вузе. Математика и особенно техника понимались как наиболее нужные.

31 июля 1925 г. Сергей Николаевич, отлично выдержав экзамены, стал студентом третьего подготовительного курса Московского индустриально-педагогического института (МИПИ) им. К. Либкнехта. Рекомендовало его к поступлению в вуз Екатеринославское отделение Всероссийского союза рабочих металлистов; спустя год, 6 июня 1926 г., правление МИПИ им. К. Либкнехта приняло решение считать С.Н. Кожевникова "окончившим подготовительное отделение и подлежащим зачислению на 1-й основной курс". По просьбе Сергея Николаевича он был зачислен на физико-техническое отделение по механико-математической специальности. Жил он в общежитии института в Лефортово.

В год учебы Сергея Николаевича на подготовительном курсе

института математику и механику там вел Н.Г. Бруевич, впоследствии академик Академии наук СССР, видный ученый в области механики и теории механизмов и машин. Было ему тогда 29 лет, и он только начинал свою педагогическую и научную деятельность. Вот что писал Николай Григорьевич о своей жизни в то время: "Родился я в 1896 г. в г. Москве. В 1916 г. окончил Московскую гимназию Страхова и поступил в этом же году на физико-математический факультет (по механическому циклу) Московского университета. Однако там почти не учился, так как сейчас же был призван на военную службу. На военной службе служил в Москве, Туркестане (где окончил Ташкентскую школу подготовки офицеров в военное время. – *Прим. авт.*), Царицыне. Последний чин – прапорщик. В марте был демобилизован и по март 1919 г. учился в университете. С марта 1919 г. служил в Красной армии. С июня 1919 г. к моменту окончания гражданской войны был все время на фронте..., занимал командные должности от командира взвода до командира полка. Хорошо поэтому знаю центральную Россию, Украину, в последней пробыл около трех лет. Осенью 1921 г. прибыл в Московскую высшую военно-педагогическую школу, которую окончил в августе 1922 г. С этого времени начал снова учиться в Московском университете по математическому циклу. Работал в семинаре у Чаплыгина и Бухгольца. В ноябре 1923 г. окончил университет, но до 1924 г. продолжал принимать участие в работе семинаров. В это время я занимался векторным анализом, интегральными уравнениями, теорией упругости, сопротивлением материалов, гидромеханикой. С осени 1923 г. работаю в Объединенной военной школе им. ВЦИК, преподаю там по 4 часа в неделю механику на артотделении и кроме того... в настоящее время занимаю должность начальника отдела этой школы".

В 1929 г. Н.Г. Бруевич начал преподавать механику в Военно-воздушной академии, а в 1930 г. завершил образование, окончив Московский авиационный институт по специальности инженера-механика по двигателям.

Условия учебы в Индустриально-педагогическом институте, как, впрочем, и в других вузах Москвы, были не из легких. Аудитории не отапливались, приходилось работать в пальто. Кроме того, существовала предметная система: студенты могли слушать, готовиться и сдавать экзамены по любому предмету и в произвольной последовательности. Ректором института в это время был Н.И. Барбашев, проректором по учебной работе – Л.Б. Левенсон, математику преподавали Н.К. Бари, А.Н. Колмогоров, М.А. Лаврентьев, А.Я. Хинчин, геометрию вел Н.А. Глаголев, прикладную механику – А.П. Малышев, Л.Б. Левенсон, физику – П.А. Ребиндер, сопротивление материалов, детали машин, проектирование деталей машин – Г.Э. Проктор.

Большое значение в судьбе Сергея Николаевича имела его встреча с Г.Э. Проктором. Георгий Эдмундович Проктор, выдающийся педагог и ученый-механик, специалист в области теории упругости и механики

грунтов, широко образованный человек, был профессором МИПИ им. К. Либкнехта. Начиная с 1929 г. с 3-го курса, когда началось чтение специальных курсов деталей машин и сопротивления материалов, Г.Э. Проктор следил за учебной Кожевникова, снабжал его книгами из своей большой библиотеки.

Г.Э. Проктор родился в 1891 г. в Кронштадте, в семье преподавателя гимназии. Окончил в Петербурге реальное училище Л.Д. Леонтовской и, как отмечал он сам, в силу неблагоприятного стечения обстоятельств... лишь в декабре 1922 г. в возрасте 31 года окончил механическое отделение Петербургского технологического института по специальности инженера-технолога.

Получение диплома инженера-технолога носило формальный характер: состоялась защита в Совете института двух научных работ: "Новая теория изгиба балок, лежащих на сплошном упругом основании" и "Проект цилиндрического затвора с передним козырьком для плотины с отверстием  $4,13 \times 16 \text{ м}^2$ ". Такое индивидуальное отношение к Г.Э. Проктору было неслучайным. К этому времени Г.Э. Проктор уже имел достаточный опыт практической работы (1916–1921 гг.) техником-конструктором в конструкторском бюро, а также в Управлении ирригационных работ в Туркестане по орошению 500 тыс. десятин в Голодной степи. Здесь под руководством В.Г. Гебеля он конструировал цилиндрические затворы для Северного голодностепного канала, руководил отделом металлических конструкций и подъемных механизмов. Практическую работу Георгий Эдмундович сочетал с разработками теоретического характера: им был подготовлен цикл исследований по расчету кольцевых диафрагм в цилиндрических затворах (нагруженных парой сил в одном сечении и равномерной погонной нагрузкой, касательной к внешней окружности кольца), поясных заклепок (в случае действия на поле сосредоточенно приложенной нагрузки), составлены номограммы по подбору наиболее выгодных элементов цилиндрических затворов. В 1919–1920 гг. Г.Э. Проктор поставил актуальную проблему об изгибе балок на сплошном упругом основании и ряд сопряженных с нею задач.

В октябре 1920 г. Г.Э. Проктор был приглашен профессором М.Н. Верловым в Иваново-Вознесенский политехнический институт. Здесь он ведет курсы деталей машин, сопротивления материалов сначала на химическом, а затем механическом и строительном факультетах. В 1921–1928 гг. на химическом факультете курсы деталей машин и сопротивления материалов были объединены в так называемый курс машиноведения, чтение которого также было поручено Георгию Эдмундовичу, в 1924–1928 гг. Проктор вел курс строительной механики и гидравлики; помимо этих курсов он также читал теоретическую механику в Иваново-Вознесенском педагогическом институте.

С 1921 г., понимая огромное значение практического опыта, он начал организацию в Иваново-Вознесенском политехническом институте (в 1923–1928 гг. – Иваново-Вознесенский институт народного хозяйст-

ва) лаборатории испытания материалов, которую открыл для студенческих занятий весной 1924 г.

Педагогическая нагрузка не мешала Георгию Эдмундовичу продолжать исследования по поставленной им же проблеме: "Об изгибе прямоугольной пластинки, заделанной одним концом и нагруженной нормальной к оси косинусоидальной нагрузкой, распределенной по длине и лежащей в срединной плоскости", о влиянии на изгиб балок на упругом основании смятин стенок балки и осадки основания. В конце 1925 г. он издал первую часть курса сопротивления материалов под заглавием "Механика изменяемого твердого тела (до изгиба)"; решил задачу об устойчивости двухэтажной П-образной рамы (для нескольких случаев), а также стойки с упругозащемленным одним и упругозакрепленным другим концами.

В 1927 г. Наркомпрос направил Г.Э. Проктора в Германию, Геттингенский университет, для продолжения работы над избранной им темой "Новая теория изгиба балок, лежащих на упругом основании". Результаты работы Г.Э. Проктор доложил на одном из коллоквиумов в Институте прикладной математики и механики Геттингенского университета. Руководил коллоквиумом Л. Прандтль. Стажируясь у Л. Прандтля, Георгий Эдмундович выезжал в Голландию на Международной конгресс по испытанию материалов.

По возвращении из Германии Г.Э. Проктор переехал в Москву. Здесь он работает в Государственном научно-экспериментальном институте сооружений при НТУ ВСНХ, где разрабатывает новую методику определения несущей способности грунтов (скоростной метод с оценкой ожидаемой длительной осадки), а также методику и аппаратуру для длительных наблюдений за осадкой сооружений.

В сентябре 1929 г. Г.Э. Проктор избирается профессором кафедры деталей машин МИПИ им. К. Либкнехта. Ему поручается чтение лекций по курсам деталей машин, проектирования деталей машин, деталей машин с грузоподъемными механизмами на 3-м курсе физико-технического отделения механико-математической специальности, т.е. на том курсе, где учился С.Н. Кожевников. После некоторых преобразований в МИПИ им. К. Либкнехта кафедра деталей машин была расширена в кафедру технической механики: она включала преподавание, кроме курса деталей машин, курсов сопротивления материалов, прикладной и теоретической механики. Заведование кафедрой технической механики взял на себя Г.Э. Проктор.

Кафедра технической механики была небольшой: Г.Э. Проктор, Л.Б. Левенсон, И.В. Иванов-Загребалов. Последний вел практические занятия по теоретической и прикладной механике. К чтению лекций по прикладной механике в мае 1928 г. был приглашен Александр Петрович Малышев, профессор кафедры прикладной механики Московского текстильного института, организатор лучшей в те годы в высших технических вузах России лаборатории по прикладной механике. В ответ на приглашение работать в Индустриально-педагогическом

институте Малышев 2 июля 1928 г. ответил: "...считаю своим долгом благодарить физико-техническое отделение за оказанное мне доверие и при этом сообщаю, что я согласен читать курс прикладной механики в Индустриально-педагогическом институте при условии, что мне будет разрешено учебной частью отступить от обычной программы этого курса и дать ему уклон в сторону теоретической трактовки некоторых вопросов, которые мною с одобрения учебной частью будут включены в программу".

Как известно, сначала проводилась разработка прикладных проблем механики машин в условиях новой школы, затем началось исследование основных проблем теории. Именно этой последней цели стремился подчинить педагогическую работу по прикладной механике А.П. Малышев.

В основу лекций по прикладной механике в МИПИ им. К. Либкнехта были положены лекции, которые он читал студентам Томского технологического института в 1918–1923 гг. Они были изложены в его "Прикладной механике" (выпуск I, "Структура и синтез механизмов", 1923), работе "Анализ и синтез механизмов с точки зрения их структуры" (1923 г.), позже – в "Кинематике механизмов" (1933 г.).

Г.Э. Проктор, деканат (в те годы – бюро) физико-технического отделения в лице В.С. Титова, А.Я. Хинчина, Л.Б. Левенсона обратились к А.П. Малышеву также с просьбой об организации отсутствующих в Институте кабинетов", в частности кабинета прикладной механики, гарантируя увеличение ему оклада до 2/3 профессорской ставки. В связи с этой просьбой Малышев писал: "Что касается организации кабинета прикладной механики при Институте, то я считаю эту организацию необходимой,... если бы Институт мог выделить для организации кабинета ответственное лицо, я охотно принял бы на себя руководство или консультирование в этой работе".

Александр Петрович Малышев родился в 1879 г. По окончании курса в Томском технологическом институте в 1910 г. получил звание инженера-механика и был оставлен ассистентом института при механической лаборатории. В первые годы деятельности он руководил студенческими работами по черчению, работал в механической и физической лабораториях, преподавал математику в одной из классических гимназий Томска. В 1913 г. он напечатал свою первую работу о коленчатых валах. Спустя два года Малышев был командирован в США, с целью повышения своей научной и инженерной квалификации, работал на одном из заводов инженером. После возвращения из заграничной командировки выдержал специальные экзамены на право занятия кафедры прикладной механики, был избран ее профессором на механическом факультете, стал читать курс прикладной механики.

В 1919 г. по инициативе А.П. Малышева в Томске организуется Протезный институт, и он становится первым его директором. Основное направление деятельности института и Александра Петровича связано с разработкой теоретических вопросов биомеханики,

созданием конструкций искусственных верхних конечностей. В связи с этим направлением деятельности и для практической реализации полученных результатов в 1923 г. Малышев был командирован в Москву на Центральный протезный завод. Желание оставаться педагогом обусловило его окончательный переезд из Томска в Москву, перевод в Московский текстильный институт профессором кафедры прикладной механики. Вся дальнейшая жизнь А.П. Малышева связана с МТИ.

МТИ ведет свое начало с 1919 г., когда бывшее прядильно-ткацкое училище и бывшее ремесленное училище им. Солдатенкова были соединены в Московский текстильный техникум. В 1920 г. с учреждением практических институтов техникум был преобразован в Текстильный институт для подготовки текстильщиков узкой специализации, а в 1923 г. по постановлению Наркомпроса о ликвидации практических институтов был переведен в разряд вузов.

А.П. Малышев вместе с Н.И. Ивановым принимал участие в создании факультета текстильного машиностроения и его конструкторского и производственного отделений, был первым деканом этого факультета. Факультет готовил конструкторов машин текстильной промышленности, и Александр Петрович читал для них прикладную механику, а также трансмиссионные устройства и их детали.

Малышев представлял МТИ в составе ЦК Союза текстильщиков, где не раз освещал задачи, стоящие перед институтом. Педагогическую работу он совмещал с научной и инженерной деятельностью в Протезном институте, в 1925 г. его избрали заместителем председателя Научно-протезной комиссии при Ученом медицинском совете, он заведовал курсами по протезному делу, был главным редактором сборника "Протезное дело". В 1927 г. А.П. Малышева командировали в Германию, в том же году он начал редактировать отдел прикладной механики в "Технической энциклопедии".

Сразу с приходом на работу в МТИ А.П. Малышев начал организацию лаборатории прикладной механики, которая со временем стала образцом для многих технических вузов страны. В ней были проведены многочисленные работы по заданиям НТУ ВСНХ, распорядительного бюро по текстильному машиностроению, Московского машиностроительного треста "Шарикоподшипник". Так, в лаборатории прикладной механики проводились испытания веретен, ткацких станков. При одном из таких испытаний веретен до 35 тыс. об/мин. зимой 1927 г. вследствие разрыва барабана А.П. Малышев получил ранение лица и левого глаза.

Значительное внимание уделялось А.П. Малышевым эксперименту, поэтому в лаборатории экспериментальными методами исследовались изнашиваемость металлов от трения, изнашиваемость кожи от трения, вопросы передачи гибкой связью при некруглых шкивах, кинематические и динамические характеристики автоматических станков.

Естественно, что Индустриально-педагогический институт был

заинтересован в сотрудничестве с таким педагогом и специалистом, как А.П. Малышев. Ему предложили чтение прикладной механики по 4 часа в неделю с сентября 1928 г., и когда он спустя год обратился в правление ИПИ с просьбой освободить его от занимаемой должности профессора кафедры прикладной механики, постановили удовлетворить просьбу Александра Петровича лишь на один год, "сохранив в кадрах преподавателей института в качестве сверхштатного профессора". А.П. Малышева просили продолжить руководство дипломными работами и организацию кабинета прикладной механики. Лекционные часы по прикладной механике были переданы Л.Б. Левенсону.

Лев Борисович Левенсон родился в 1878 г. В 1903 г. он окончил Петербургский технологический институт и посвятил себя инженерно-конструкторской деятельности. Но уже в 1915 г. защитил диссертацию "Плоские регуляторы" и получил звание адъюнкта по кафедре прикладной и горнозаводской механики в Петербургском горном институте, параллельно продолжал интенсивную инженерно-проектную работу в области механизации обогащения полезных ископаемых.

В 1923 г. Л.Б. Левенсон издал учебные пособия "Кинематика механизмов" и "Статика и динамика машин", в основу которых лег курс прикладной механики, читанный им в Петроградском горном институте. В соответствии с ним Л.Б. Левенсон читал курс прикладной механики и в Индустриально-педагогическом институте, где он начал работать после переезда в Москву в 1927–1928 гг. Теоретический материал Л.Б. Левенсон излагал на большом количестве примеров, взятых из технической практики. В качестве классификации он принимал несколько измененную классификацию Виллиса, следуя в этом традиции русской школы механики машин; приводил некоторые элементарные сведения из кинематической геометрии. Синтеза механизмов Л.Б. Левенсон не излагал, однако достаточно полно и подробно сообщал студентам сведения по кинестатике и динамике машин, хотя ошибочно и неясно трактовал понятие силы инерции, что вызвало несколько позже в 1936–1937 гг. оживленную дискуссию. Курсы по кинематике механизмов и общей теории машин, опубликованные Л.Б. Левенсоном, приобрели большую популярность в высшей технической школе.

Сергею Николаевичу Кожевникову нравилось учиться в МИПИ. Институт был небольшим, преподаватели, в большинстве начинающие в то время видные ученые, доброжелательно относились к студентам. Сергей Николаевич изучал на первых двух курсах математику, физику (отдельно – молекулярную физику), химию, теоретическую механику, причем как спецкурс была выделена графостатика, начертательную геометрию, немецкий язык. Поскольку институт готовил педагогов-инженеров с правом преподавания в школах фабрично-заводского ученичества, индустриальных профессионально-технических школах, техникумах земледелия и школах повышенного типа, усиленное внимание уделялось педагогике, педологии, психологии, научной организации

труда и эволюционному учению. Даже в малой степени несерьезное отношение к этим предметам было в институте строго наказуемо. Курьезный случай в связи с этим произошел с Сергеем Николаевичем на 2-м курсе: увлекающийся математикой, механикой, графостатикой и несколько недооценивший значение педологии, он обратился в правление института с просьбой перевести его на 3-й курс без сдачи педологии, мотивируя это тем, что отдыхал в доме отдыха и был в лагерях на учении. Однако тут же получил ответ: "оставить на второй год". Конечно же, экзамен был сдан, перевод на 3-й курс состоялся, но это послужило серьезным уроком недопустимости деления предметов на нужные и ненужные.

На третьем, четвертом курсах читались прикладная механика, сопротивление материалов, детали машин с проектированием, технология металлов, электричество и электротехника, термодинамика, теплотехника, станки (детали, монтаж, основы кинематического расчета и управления), начались лабораторные работы по испытанию материалов.

Работа в лабораториях по испытанию материалов и деталям машин сблизила С.Н. Кожевникова с Г.Э. Проктором, а разработка курсовых проектов по прикладной механике, участие в создании кабинета прикладной механики института – с А.П. Малышевым. Уже на третьем курсе под руководством Александра Петровича молодой Кожевников занялся решением ряда задач динамики долбежных станков, анализом спичечных машин-автоматов, причем многие вопросы решались экспериментально в лаборатории прикладной механики.

В период учебы Сергей Николаевич проявлял незаурядные способности, чем выделялся среди своих сверстников. Талант никогда не остается незамеченным. Когда в январе 1929 г. был поднят вопрос о выдвижении ряда студентов на научную работу в институте, в числе первых А.П. Малышев назвал Сергея Николаевича. Его кандидатуру поддержал и Г.Э. Проктор. 5 февраля 1929 г. математическая и физико-техническая комиссии института утвердили С.Н. Кожевникова "...кандидатом в выдвиженцы по прикладной механике". Научным руководителем Сергея Николаевича был назначен А.П. Малышев, темой исследования оставалась разработка задач динамики долбежных станков и кинематики шепингов.

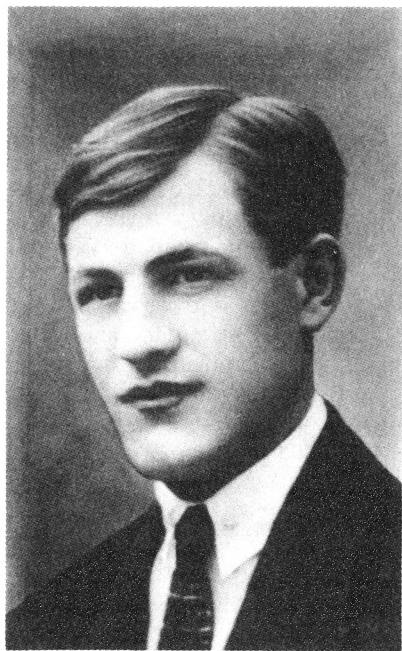
На третьем, четвертом курсах института началась производственная (заводская и школьная) практика, сначала в учебных мастерских института, затем на заводе "Манометр", спичечной фабрике "Пролетарское знамя", Людиновском машиностроительном заводе, заводе Маленкова. Педагогическая практика, отработка дидактики преподавания проходила в школе фабрично-заводского ученичества завода "Икар". На Людиновском машиностроительном заводе с помощью прибора Малышева он проводил экспериментальные исследования неравномерности хода локомотивов, на фабрике "Пролетарское знамя" под руководством Малышева занимался исследованием спичечных машин. Во время прохождения практики Сергей Николаевич



не ограничивался выполнением только необходимого задания. Он организовал ячейки по цехам, делал доклады о состоянии техники, в Чудове он организовал и возглавил вечерние рабочие курсы, работал с изобретателями. Там же в октябре–ноябре 1929 г., будучи на практике на спичечной фабрике "Пролетарское знамя", он предложил новый станок-автомат для двусторонней наклейки этикеток на спичечные коробки, что давало большую экономию.

Еще студентом третьего курса, в 1928 г., Сергей Николаевич женился. Его женой стала Евгения Семеновна Величко, студентка металлургического факультета МИПИ им. К. Либкнехта. Интересно ее воспоминание о работе Сергея Николаевича над этим станком-автоматом (дополненное архивными материалами).

В 1928 г. Советский Союз получил заказ на поставку за рубеж спичек. Спичечная фабрика под Ленинградом должна была изготовить большую партию спичек на экспорт. Но первая партия была возвращена, так как не удовлетворяла мировым стандартам – этикетка была только на одной стороне коробки. В дирекцию института поступил запрос: нет ли среди преподавателей-механиков специалиста, который бы решил этот вопрос. Дирекция предложила решить эту задачу студенту С.Н. Кожевникову. Сергей Николаевич поехал на спичечную фабрику, разобрался и спроектировал к машине поворотное устройство, обеспечивающее наклейку этикеток с обеих сторон. Руководство завода выделило средства на это устройство. Однако 15 ноября заканчивалась практика и необходимо было приступить к занятиям в институте, оставлять же с успехом начатое, но не доведенное до конца дело Кожевников не мог. Он пишет в правление МИПИ заявление с просьбой дать ему отпуск на один месяц (до 15 декабря) для завершения работы, "потому что при выполнении опытного станка мое присутствие необходимо, ибо работа проводится под моим руководством". Ответ на просьбу Сергея Николаевича подписал от имени правления МИПИ проректор по учебной части Л.Б. Левенсон. Вот этот ответ: "Несмотря на уважительность мотивов, приводимых Вами, не могу не отметить про-



**С.Н. Кожевников –  
выпускник Московского  
индустриально-педагогического  
института.  
1930 г.**

явленную Вами плохую дисциплинированность, которую студент должен соблюдать. Требования эти тем более существенны, что Вы являетесь выдвигенцем. Однако учитывая все обстоятельства, предлагаю Вам не позже 15 декабря приступить к нормальным занятиям в институте, в противном случае будет поставлен вопрос о Вашем увольнении из института".

Полученный отпуск был с успехом использован для постройки опытного устройства, которое прошло все испытания и было впоследствии запущено в серийное производство.

Уже спустя полтора года в апреле 1931 г. после окончания С.Н. Кожевниковым института и принятия решения о его выдвигении в аспирантуру по прикладной механике МИПИ им. К. Либкнехта сообщает во Всесоюзное объединение спичечной промышленности: "кандидата вместо т. Кожевникова, оставленного при Институте, выделить невозможно, так как контракция прекращена, а распределение оканчивающих производит Наркомпрос". Подробности переписки МИПИ им. К. Либкнехта и Всесоюзного объединения спичечной промышленности не сохранились, но очевидно, что по рекомендации фабрики "Пролетарское знамя" Всесоюзное объединение спичечной промышленности просило МИПИ о направлении С.Н. Кожевникова на работу после окончания института в свое объединение.

Перед окончанием института по рекомендации Г.Э. Проктора С.Н. Кожевникову было поручено разобраться со станком для механизированного изготовления кирпича, который не работал. Г.Э. Проктор передал Сергею Николаевичу проект. Внимательно изучив документ, Сергей Николаевич нашел причину: в станке неправильно рассчитаны степени свободы. Он все пересчитал, перечертил и доложил о результатах своей работы на заседании Государственной комиссии, которую возглавлял М.И. Калинин. За проделанную работу Сергей Николаевич получил благодарность от председателя правительственной комиссии. Профессор Г.Э. Проктор на его проекте написал: "Молодой орленок расправил свои сильные крылья".

В аспирантуру МИПИ им. К. Либкнехта Сергей Николаевич был зачислен в сентябре 1930 г. К этому времени он сделал уже перевод таблиц Zipperera, провел исследование машин спичечного производства, неравномерности хода шепингов. А.П. Малышев, давая отзыв на выдвигение своего ученика в аспирантуру, писал: "Считаю С.Н. Кожевникова весьма подготовленным и желательным кандидатом в аспиранты по курсу прикладной механики как интересующегося предметом и углубившего свои знания работой в кабинете прикладной механики при Московском текстильном институте под моим руководством". Г.Э. Проктор также отмечал: "С.Н. Кожевников окончил МИПИ им. К. Либкнехта и был оставлен в нем аспирантом для подготовки к научно-педагогической работе. Еще до окончания института он принимал участие в качестве лаборанта при кабинете деталей и машин и лаборатории испытания материалов в организации педагогического процесса. Еще в студенческие годы он начал ин-

тересную работу по кинематике четырехзвенного механизма шепинга, которая в настоящее время переросла в большую работу по динамике не только шепингов, но и вообще станков".

Евгении Семеновне пришлось согласно ранее заключенному контракту ехать в г. Днепродзержинск преподавать в вечерней рабочей школе металлургического завода. Вернувшись в Москву, она вместе с Сергеем Николаевичем работала в Институте повышения квалификации инженерно-технических работников, где Сергей Николаевич подрабатывал, преподавая физику и математику. Жили они в это время на аспирантской даче под Москвой, в Никольском, здесь и родился 7 декабря 1930 г. сын Юрий. В 1936 г. они расстались.

---

**Состояние теории механизмов  
и машин в СССР  
(20 – 30-е годы)**

В 20–30-е годы, т.е. годы учебы и становления С.Н. Кожевникова как ученого и педагога, происходил пересмотр взглядов на содержание и задачи теории механизмов. Впервые была поставлена задача – построить эту дисциплину не на базе описания свойств отдельных механизмов, а на базе строгой научной методологии, позволяющей рассматривать не отдельные механизмы, а их совокупности, обладающие общими структурными, кинематическими и динамическими свойствами.

Курс теории механизмов и машин в 20-х годах в Советском Союзе читался под разными наименованиями: "Прикладная механика", "Кинематика механизмов", "Динамика машин". Преподавателями были главным образом ученики Н.Е. Жуковского или ученики его учеников. В качестве учебников принимались различные переработки курсов В. Понселе по прикладной механике – учебники Н.И. Мерцалова, Л.П. Рузского, А.А. Радцига. Эти же учебники, иногда с небольшими изменениями, переиздавались и в 30-е годы. Разработка проблем прикладной механики в основном была направлена на решение методических вопросов и лишь некоторые ученые занимались решением отдельных вопросов науки о машинах. Первыми учебниками по теории механизмов и машин для высшей технической школы были учебники А.П. Малышева, Л.Б. Левенсона, Я.В. Столярова, В.В. Арнольда и Л.П. Смирнова.

Одним из первых приступил к исследованию прикладной механики А.П. Малышев. В 1923 г. он опубликовал в Томске монографию "Анализ и синтез механизмов с точки зрения их структуры" и учебник "Прикладная механика. Структура и синтез механизмов". Этот учебник был переиздан в Москве в 1933 г. под названием "Кинематика механизмов". А.П. Малышев исследовал структуру механизмов, следуя П.О. Сомову, выясняя роль условий связи в механизмах. Анализ механизмов он начинал, следуя Ф. Рело, с исследования кинематических пар. По его расчету, твердые звенья могут быть собраны различным способом в сорок четыре различных вида пар. В зависимости от условий связи он относил эти пары к пяти классам. Он строил также кинематические пары с изменяемыми звеньями и налагающие по шесть

или семь условий связи. Он получал двадцать три вида пар шестого класса и тридцать два вида пар седьмого класса. Он исследовал затем более общий случай пространственного механизма, имеющего пары разных классов. Основываясь на работах П.О. Сомова, он построил структурную формулу, известную под названием формулы Сомова–Мальшева,

$$6(n - 1) = 5m_5 + 4m_4 + 3m_3 + 2m_2 + m_1 + 1,$$

где  $n$  – число твердых звеньев,  $m_5, m_4, m_3, m_2, m_1$  – число пар соответствующих классов.

Одним из первых А.П. Мальшев начал разработку проблемы синтеза механизмов. Он различал формальный, практический и математический синтез. На кафедре прикладной механики МТИ он ставил экспериментальные работы в области теории механизмов.

Именно здесь в 1928–1934 гг. проходил стажировку Сергей Николаевич, именно здесь он впервые начал знакомиться с трудами классиков науки о машинах – Ф. Рело, П.Л. Чебышева, Л. Бурместера, Ф. Грасгофа. Затем он изучил работы А.П. Мальшева по структуре механизмов. В этих работах содержалась обширная библиография по кинематике механизмов, включающая исследования Р. Виллиса, А. Кели, Дж. Сильвестера, М. Грюблера, П.О. Сомова, а также Л.В. Ассура. Работа Л.В. Ассура увлекла и заинтересовала С.Н. Кожевникова. В подтверждение собственным мыслям о возможностях, открываемых методикой Ассура, он прослушал в 1928 г. доклад И.И. Артоболевского на эту же тему, сделанный на научной конференции МТИ.

Кроме того, в лаборатории прикладной механики МТИ Сергей Николаевич увлекся техникой эксперимента в области кинематики и динамики механизмов и машин швейной промышленности, проводимого под руководством А.П. Мальшева. Таким образом, именно от Мальшева, руководимых им кафедры и лаборатории прикладной механики, берет свои истоки интерес С.Н. Кожевникова к проблемам структуры и классификации механизмов, динамики машин, знакомство с И.И. Артоболевским, переросшее затем в многолетнюю и плодотворную творческую дружбу.

Важный вклад в дело изучения механизмов сделал ученик Н.Е. Жуковского В.П. Горячкин (1868–1935). По окончании МГУ, а затем МВТУ он был приглашен в Московский сельскохозяйственный институт для постановки преподавания курса "Учение о сельскохозяйственных машинах и двигателях". В результате многих исследований, произведенных над машинами сельскохозяйственного производства, он создал учение о машинах-орудиях сельскохозяйственного производства, чем открыл новую главу прикладной механики, которая до него ограничивалась учением о машинах-двигателях.

Несколько позже занялся исследованием динамики горных машин Л.Б. Левенсон – профессор МИПИ, а впоследствии Ленинградского горного института. Он издал в 1923 г. учебники "Кинематика механизмов" и "Статика и динамика машин". В 1938 г. эти книги послужили первопричиной дискуссии о силах инерции.



**Сергей Николаевич с Евгенией Семеновной Величко  
и сыном Юрием. 1933 г.**

В 1917 г. профессор Харьковского технологического института Я.В. Столяров опубликовал проект классификации механизмов, в основу которой положил три фактора, определяющие свойства кинематической цепи: число звеньев, кинематическую характеристику звеньев и кинематическую характеристику пар. Учитывая эти характеристики, Столяров разделил все механизмы на три отдела: 1) простейшие механизмы, 2) простые механизмы, 3) сложные механизмы.

Первый отдел подразделялся на группы в зависимости от осуществляемого механизмом движения. Второй отдел делился на классы, из которых наибольшее значение имели первый класс (трехзвенные цепи) и второй класс (четырёхзвенные цепи). Третий отдел включал два класса, которые в свою очередь подразделялись на группы.

В 1924 г. Столяров издал учебник, переизданный в 1926 г. под названием "Теория механизмов". Этот учебник был написан на основе систематики механизмов, разработанной ученым. В этом учебнике вопросы кинематики и динамики излагались параллельно.

Одновременное изложение кинематики и динамики было принято и в учебнике "Общие основания теории машин" профессора Петроградского института гражданских инженеров В.В. Арнольда. Учебник был опубликован в 1922 г. и переиздан в 1925 г. Учебник был написан так, чтобы его можно было использовать для самостоятельного изучения курса.

В МВТУ над вопросами теории машин и механизмов работал Л.П. Смирнов (1877–1954). Он окончил МВТУ и в 1919 г. был избран там же профессором по кафедре прикладной механики. Он занимался кинематическим анализом многозвенных механизмов, а также вопросами методики преподавания курса прикладной механики. Он обратил особое внимание на проведение расчетных работ графическими и графоаналитическими методами. В частности, он разработал метод построения плана скоростей для зубчатого механизма. В 1926 г. он опубликовал "Кинематику механизмов и машин" и "Кинетику механизмов и машин". В МВТУ он поставил экспериментальные работы по теории механизмов. В частности, он сконструировал и построил гармонизатор для применения рядов Фурье при исследовании механизмов.

Пропедевтический курс основ машиностроения в МВТУ читал А.И. Сидоров (1856–1931). Он окончил МГУ, а затем МВТУ, в 1899 г. был избран профессором МВТУ по курсу построения машин. В 1929 г. он опубликовал курс лекций "Основные принципы проектирования и конструирования машин". В качестве образца для написания книги он принял курс Я. Редтенбахера, который основательно переработал, в частности, исключил некоторые сведения по аналитической механике. Курс А.И. Сидорова – одна из лучших книг по введению в машиностроение и можно только пожалеть, что она не была переиздана.

Характерной особенностью первых учебников, опубликованных в 20-е годы, был повышенный интерес к изучению структуры механизмов. В связи с тем что в практике машиностроения начали появляться пространственные механизмы, стали изучать и их. Так, в 1925 г. А.В. Верховский изучил механизм Беннета – шарнирный четырехзвенник с непересекающимися осями. С 1927 г. пространственными механизмами и в первую очередь сферическими механизмами занялся И.И. Артоболевский (1905–1977). Он закончил в 1926 г. Московскую сельскохозяйственную академию им. Тимирязева, где был учеником Н.И. Мерцалова и В.П. Горячкина. С конца 1927 г. он работал на кафедре А.П. Малышева в Московском текстильном институте. Здесь с ним впервые и встретился С.Н. Кожевников, тогда еще выпускник Московского индустриально-педагогического института.

В 1928 г. очень интересную работу "Кинематический метод в строительной механике" опубликовал И.М. Рабинович (1886–1977), профессор Военно-инженерной академии и Московского инженерно-

строительного института. Во вводной части этой работы изложено учение о сложных кинематических цепях и о способах их анализа. Ученый показал, что фермы можно рассчитывать как механизмы нулевой подвижности; идеи эти оказались весьма плодотворными и книга значительно повлияла на развитие не только строительной механики, но и теории механизмов и машин.

Вопросами теории механизмов занимались также профессор МВТУ А.П. Котельников, профессор Одесского политехнического института Н.С. Васильев; в Санкт-Петербурге – Л.Г. Лойцянский и А.И. Лурье, А.П. Иванов, Н.И. Колчин, С.В. Вяхирев, С.А. Гершгорин; в Харькове – А.И. Сырокомский и Я.Л. Геронимус; в Днепропетровске – Я.И. Грдина и др.

С.Н. Кожевников начал работать на кафедре прикладной механики Московского авиационного института в 1934 г. Кафедрой в 1930–1941 гг. заведовал Г.Г. Баранов (1899–1959). Тематикой исследований кафедра была тесно связана с кафедрой теории механизмов и машин Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского, которой в 1929–1932 гг. заведовал В.В. Добровольский (1880–1956). На заседаниях кафедры преподаватели докладывали результаты исследований. В.В. Добровольский занимался проблемой структуры механизмов, Н.Г. Бруевич – вопросами анализа и синтеза кулачковых механизмов, Г.Г. Баранов – вопросами анализа и синтеза механизмов авиационных двигателей, сообщения И.И. Артоболевского были посвящены разработке вопросов теории пространственных механизмов. В начале 30-х годов на обеих кафедрах началось изучение творчества Л.В. Ассура. Связано это было с поисками новых путей для науки о машинах в результате проведенной в 1930 г. дискуссии.

Формирование Кожевникова как ученого и учителя проходило в обстановке общего трудового подъема, нацеленного на выполнение первого пятилетнего плана. Началось строительство первенцев машиностроения, что резко обострило проблему подготовки инженерных кадров и привело, как следствие, к реорганизации системы высшего образования в стране. Это, в свою очередь, потребовало переработки учебных планов и программ, критического пересмотра всей системы наук, изучающих машинную технику. Кроме того, в результате быстрого развития отечественного машиностроения были заложены основы целого ряда важнейших его отраслей, что также заставило пересмотреть вопросы теоретического обеспечения науки о машинах.

Все это обусловило дискуссию о содержании, методах, значении прикладной механики, начатую в 1930 г. на страницах газеты "Техника" статьей П.П. Капустина, поднимающей важную проблему о содержании вузовского курса прикладной механики. Автор указывал на неясность его содержания, отсутствие четкой терминологии, неполноту, поскольку в него не включались исследования технологических машин с их интересными и сложными механизмами, а лишь элементарные механизмы. Капустин считал, что предметом курса должны стать темы: общая теория машин, теория передаточных и испол-



нительных механизмов, теория деталей и приспособлений, принципы автоматизации машин и основы техники безопасности, сопротивление материалов и теория упругости. Теорию передаточных механизмов Капустин рассматривал как сравнительную для всех существующих типов передач, а теорию исполнительных механизмов как систему классификации механизмов и законов их работы, причем в качестве классификационного признака он предлагал принять операцию.

Статья Капустина, поставленная в ней проблема оказались своевременными: ведь наука о машинах явно отставала от практического машиностроения, не удовлетворяла ни преподавателей, ни заводских инженеров. Поэтому положения статьи, касающиеся вопросов общей теории машин, теории исполнительных и передаточных механизмов, теории машин автоматического действия, сразу попали в центр внимания. В дискуссию включились: А.П. Малышев статьей "Конструктор, втуз и прикладная механика"; В.В. Данилевский "За марксистско-ленинскую науку машиноведения"; М. Горфинкель – "Теория машин на переломе"; А.А. Радциг – "Имеются серьезные возражения"; Н. Еромицкий – "Машины должны иметь свою систему элементов"; Е.Л. Николаи – "О социалистическом машиноведении"; А. Слободкин – "Прикладная механика и автоматостроение"; Е. Стрелков – "Какой должна быть социалистическая теория машин"; Н. Орлов – "Создание социалистической теории машин – неотложное дело"; С. Андельман, И. Будницкий и др. – "За марксизм-ленинизм в технической теории"; И.И. Артоболевский – "Перестроить систему изучения кинематики и динамики машин"; В.В. Добровольский – "Каким должен быть курс теории механизмов"; Н. Данильцев, А. Макаров – "Ничего нового" и многие другие машиноведы страны. Как видим, дискуссия охватила широкие научные и технические слои общества.

Первым отреагировал на статью Капустина А.П. Малышев. Он поддержал ее положения о необходимости уточнения содержания курса прикладной механики, но предложил свой вариант тем, входящих в него. Это – учение о движении органов механизмов, структура механизмов, методы их исследования и построения, принципы построения автоматов, законы трения в машинах. При этом следовало отличать теорию передаточных механизмов от теории исполнительных механизмов, разработать отдельно теорию технологических машин. Предлагалась схема прикладной механики: 1. Учение о приводах; 2. Учение о движении органов машин (методы кинематики и динамики машин); 3. Механика машин по специальности. Последнее предложение А.П. Малышева было поддержано известным историком техники В.В. Данилевским.

Согласившись в целом с постановкой проблемы о неудовлетворительном состоянии курса прикладной механики, некоторые участники дискуссии выступили с резкой критикой ряда положений статьи Капустина. Так, А.А. Радциг, М. Горфинкель отметили некоторую расплывчатость его идей, отставание от реального состояния дел, поскольку многое из предложенного им уже реализовано в практике

технической школы. Радциг подверг критике идею переноса части курса электротехники в прикладную механику, обратил внимание на то, что еще Ф. Рело предусмотрел возможность включения в науку о машинах гидравлических и пневматических машин, отрицательно оценил попытку построить классификацию машин исходя из понятия "операция".

Таким образом в дискуссии наметилось два направления сторонников и противников преобразования, причем обе группы обосновывали свои позиции, базируясь на существующих схемах курса прикладной механики и в сущности предлагали лишь перераспределение материала.

Отметим еще одно направление проводимой дискуссии. По мнению П.П. Капустина, машину следовало рассматривать как социальную категорию, в силу чего общая теория машин должна иметь социологическую вводную часть. Такое мнение отвечало идеологическим установкам начала 30-х годов. Многим казалось тогда, что машина в Советском Союзе отличается от той, которая бытовала в капиталистических странах, а потому наука о машинах, равно как и другие естественнонаучные и технические науки, должна быть перестроена на основе учения диалектического материализма. Против такого подхода в науке выступил математик С.Н. Берштейн, который заявил, что между диалектическим материализмом и математикой нет ничего общего. Для того времени подобное заявление было небезопасным: С.Н. Берштейн был снят с должностей директора Украинского института математики (г. Харьков) и профессора Харьковского университета и был вынужден переехать в Ленинград.

Следующие выступления либо поддерживали (полностью или частично) тезисы П.П. Капустина, либо возражали против них. Так в № 9 "Техники" со статьей "За марксистско-ленинскую теорию машиноведения" выступил академик В. Данилевский. По его мнению, вопрос о социалистической теории машин был поднят своевременно. Вместе с тем он находит в этой статье "левацкие загибы", как, например, отрицание необходимости в зубчатых передачах, которые Капустин объявляет видом отсталым и неэкономичным. В общем был согласен с П.П. Капустиным профессор Е. Николаи (статья "О социалистическом машиноведении"). Он заявлял, однако, что в плане П.П. Капустина не предусмотрено место для механики, науки совершенно необходимой конструктору, но которая должна стать одной из важных дисциплин машиноведения.

Далее была опубликована статья "За марксизм-ленинизм в технической теории" за подписью С. Андельмана, И. Будницкого, Ш. Гуревича, Я. Рожака, Б. Эрлимана. Приведем некоторые выдержки из этой статьи, поскольку они вполне характеризуют идеологическую атмосферу начала 30-х годов: «Подвергнем основному и решительному пересмотру и марксистской критике самые основы учения о машинах: не только определение понятия о машине, но и классификацию машин, анализ машин и все руководства и учебники по машиноведению. И

иначе как реакционными нельзя назвать попытки некоторых старых механиков, например профессора Радцига и инженера Горфинкеля, изобразить дело так, будто бы весь пересмотр машиноведения должен сводиться к учету применения новых материалов, новых технологических процессов и новых стандартных деталей машин. В этих выступлениях отчетливо проявляется обычная буржуазная тенденция к тому, чтобы сохранить ту оторванность техники, технических наук от экономики, которая была характерна для всей буржуазной науки, буржуазного мировоззрения и которая должна быть ликвидирована социалистическим пересмотром всех наук на основе марксизма-ленинизма...

Этого т. Капустин не предусмотрел и с завидным бесстрашием бросил перчатку всей профессорской братии, будучи сам далеко не во всех отношениях достаточно вооруженным и подкованным. Ударив по механистам, сам т. Капустин договорился до прямого субъективного идеализма...

Капустин говорит... машиноведы лишь игнорируют определение, данное Марксом и рассматривающее машину как социальную категорию... Обходя молчанием социальную суть машины, машиноведы обходят и весь комплекс конструкторских вопросов, связанных с проблемой рабочей машины. Ну, а не помнят ли т. Капустину чего-нибудь слова: "Ведь это же поистине нелепость, возводить машину в экономическую категорию, наряду с разделением труда..., машина не в большей мере является экономической категорией, нежели бык, который тянет плуг..."\*

Данная статья показала, в каких тяжелых идеологических условиях приходилось работать специалистам-машиноведам. По образному выражению замечательного русского металлурга В.Е. Грум-Гржимайло, в Советском Союзе промышленность была отдана на растерзание крапивному семени, т.е. чиновничеству, которое свои ошибки и просмотры перекладывало на плечи "врагов" – специалистов, отвечающих за эти ошибки сроками в тюрьмах и лагерях, а иногда и высшей мерой наказания. Выступление пяти авторов было в основном направлено против профессора А.А. Радцига, основоположника паротурбостроения в СССР, по учебникам которого по прикладной механике и теплотехнике учились тысячи студентов. А.А. Радциг писал: "Предложение т. Капустина страдает большой неопределенностью: многое из того, о чем говорит автор, уже изучается и преподается как система предметов. Предложенные им разделы так разнородны, что не могут составить одну цельную науку"\*\*. Он замечал далее: «Главное сомнение вызывает во мне теория исполнительных механизмов: при их бесконечном разнообразии, теория их представляется мне неконкретной и бессодержательной. Разделение этих механизмов по принципу опе-

---

\* *Андельман С., Будницкий И., Гуревич Ш., Рожак Я., Эрлиман Б.* За марксизм-ленинизм в технической теории // Техника. 1930. № 20. С. 30.

\*\* *Радциг А.А.* Имеются серьезные возражения // Техника. 1930. № 13. С. 27.

раций делалось в старых курсах "общей" механической технологии, но такая система была оставлена вследствие своей нежизненности»\*.

В некоторых статьях давались конкретные предложения. Так, по мнению директора Московского станкоинструментального института Н. Стрекалова науку о машинах следует строить из двух частей: кинематики и динамики станка, а теорию советского механизма – на следующих принципах: 1) дифференциация по отраслям производства машин; 2) предварительное ознакомление с теоретической механикой в историческом разрезе; 3) выделение кинематики механизмов отдельно от динамики и деталей машин; 4) изучение и осуществление максимальной безопасности в работе на данных машинах; 5) внедрение элементов сохранности механизмов (смазка и т.п.).

Очень серьезно отнесся к дискуссии В.В. Добровольский статьей "Каким должен быть курс теории механизмов". По его мнению, поскольку термин "прикладная механика" относится главным образом к теории механизмов и машин, то в состав прикладной механики должны входить общая теория машин, общая теория механизмов, общий курс приводных механизмов и спецкурсы по машиноведению. «В частности, курс теории механизмов, – писал Добровольский, – требует наибольшей переработки. Своим традиционным делением на кинематику и динамику механизмов он особенно ярко отражает тенденции формальной зависимости от неизменной "теоретической механики". Вместо такого деления мы предлагаем основать распределение материала в зависимости от классификации механизмов, а последнюю построить на принципе структурности. Дело в том, что методы синтеза и анализа механизмов как кинематические, так и динамические целиком зависят от структуры и поэтому рассмотреть механизмы одной структуры полностью со всех сторон целесообразнее, чем объединить в одном изложении кинематику механизмов такой различной структуры, как шарнирные и зубчатые, а затем в динамике снова возвращаться к уже произведенному и давно забытому кинематическому анализу тех же механизмов»\*\*.

Это выступление в сущности выражало мнение всех сотрудников кафедры Военно-воздушной академии, которые серьезно занимались вопросами структуры и классификации механизмов. Позже В.В. Добровольский написал учебник, соответствующий изложенным здесь принципам. В соавторстве с И.И. Артоболевским он подготовил монографию "Структура и классификация механизмов", а Артоболевский тогда же разработал свои идеи в монографии "Структура, классификация и кинематика многосвязных плоских механизмов". Обе эти монографии были опубликованы значительно позже, в 1939 г. Тогда же С.Н. Кожевников вместе с Г.Г. Барановым подготовили проект задачника по теории механизмов и машин, Сергей Николаевич про-

---

\* Там же. С. 27.

\*\* *Добровольский В.В.* Каким должен быть курс теории механизмов // *Техника.* 1939. № 38. С. 15.

читал в Московском институте повышения квалификации инженеров курс по структурному, кинематическому и кинетостатическому анализу механизмов, основанному на методике Л.В. Ассура. Впоследствии конспект этих лекций был стенографирован.

Несколько раньше Добровольского в дискуссии принял участие И.И. Артоболевский. Он писал, что статья Капустина совершенно правильно заостряет вопрос о ненормальном положении преподавания курсов кинематики и динамики 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 решения обратной задачи – синтеза механизмов, т.е. той задачи, которая для конструкторов 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 промышленности, в которой будет работать будущий инженер-конструктор, он сам бы провел 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 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.

Таким образом И.И. Артоболевский поставил дискуссионную проблему совершенно иначе.

Критически проанализировав основы курса прикладной механики начала 30-х годов, он наметил пути их дальнейшего развития. Это – усиление внимания конструкторской мысли кинематическим, кинетостатическим и динамическим расчетам машин, введение в курс задач синтеза механизмов, вопрос о трении, вибрациях в машинах, ударном действии сил, теории пространственных передач, автоматах, т.е. вопросов, которые имеют первостепенную важность в практике расчета машин. Кроме того, методика преподавания курса также должна строиться на базе реально оборудованных лабораторий. Важным оказалось выступление и В.В. Добровольского. Он заострил внимание еще на

одной стороне вопроса: необходимости переработки курса теории механизмов на основе распределения материала в зависимости от классификации механизмов, причем последнюю он предлагал строить по принципу структурности.

В определенной степени Артоболевский подытожил идеи основных выступлений: был намечен план перестройки предмета преподавания, сформулированы важнейшие направления теории, над которыми следовало работать машиноведам, выявлена целесообразность создания специального научно-исследовательского института машиноведения.

Дискуссия показала, что в отношении предмета теории механизмов и машин существовало много неясностей, которые отдельные высшие технические школы страны разрешали по-разному. Но одновременно выдвинулась группа ученых, поставивших перед собой задачу разработать учение о структуре и классификации механизмов. К этой группе ученых принадлежали И.И. Артоболевский, В.В. Добровольский, Г.Г. Баранов, Н.Г. Бруевич и С.Н. Кожевников. Не лишено интереса и то обстоятельство, что эти ученые работали в двух основных высших технических школах авиационного профиля – в Военно-воздушной академии и Московском авиационном институте.

Как известно, в начале 30-х годов произошла существенная перестройка высшей школы, причем число их почти утроилось, что в свою очередь повлекло за собой рост преподавательского персонала. К преподаванию пришли молодые инженеры, некоторые только со студенческой скамьи. И вот, в середине 30-х годов была начата новая дискуссия – спор среди машиноведов относительно сил инерции. Нужно сказать, что в этом вопросе было и остается много неясностей, начиная хотя бы с того, что нет четкого определения понятия "сила". Еще в конце XIX – начале XX столетия имела место дискуссия о понятии силы инерции между профессорами Университета св. Владимира в Киеве. В этой дискуссии приняли участие такие крупные ученые, как Г.К. Суслов и В.П. Ермаков. Дискуссия продолжалась несколько лет, но ее участники остались каждый при своем мнении.

Дискуссия середины 30-х годов имела своим основанием самый большой и самый распространенный в советской технической школе учебник Л.Б. Левенсона в двух томах – первый был посвящен кинематике механизмов, а второй – статике и динамике машин. Второй том этого учебника и послужил основанием для дискуссии 1936–1937 гг., поскольку именно в нем в трактовку понятия сил инерции автор внес изрядную долю путаницы. Учебник Л.Б. Левенсона впервые был опубликован в 1923 г., а затем имел ряд переизданий. Неправильности и неясности в трактовке автором сил инерции долго не привлекали внимание преподавателей, по-видимому по причине трудности самого понятия. Дискуссия началась с письма заведующего кафедрой теоретической механики Одесского университета Г.К. Суслова в редакцию журнала "Вестник инженеров и техников" с просьбой опубликовать приложенную к письму статью научного сотрудника кафедры

Я.Б. Шора, выступавшего от имени всего коллектива кафедры. Сам Г.К. Суслов был основной фигурой в "киевской" дискуссии о силах инерции. Статья Я.Б. Шора была как бы ответом на письмо самого Л.Б. Левенсона в редакцию того же журнала, в котором он просил читателей его книги "Статика и динамика машин" найти одну ошибку, относящуюся к вопросу о силах инерции. При этом он указал, что внимательно просмотрел книгу и больше ошибок не обнаружил.

Как писал Я.Б. Шор, «...внимательный просмотр "Статики и динамики машин" показывает, что автор 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, смешивая различные понятия, приводит неверные доказательства и мистические объяснения.

Не задаваясь целью дать развернутую критику книги, остановимся только на некоторых совершенно очевидных ошибках.

Чего стоит одно лишь следующее рассуждение:

"Пусть, например, имеется подвешенное на шнурке тяжелое тело, шнурок внезапно перерезается или пережимается, так что тело начинает падать без всякой начальной скорости. Как известно, падение будет происходить с постоянным ускорением  $j$ , равным ускорению силы тяжести,

$$j = g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Согласно вышесказанному проявится сила инерции

$$C = mj,$$

направленная против ускорения, т.е. вверх".

Итак, на падающее тело действуют две равные и противоположно направленные силы: вниз – сила тяжести  $G$ , вверх – сила инерции

$$C = mj = G$$

так, что силы взаимно уравниваются. Однако тело падает не равномерно, а ускоренно. Здесь дело можно объяснить так: обе силы  $C$  и  $G$  в каждый момент времени взаимно уравниваются, но непрерывно действующее вниз притяжение Земли дает как бы ряд непрерывных импульсов (подчеркнуто. – Я.Ш.), которые можно считать постоянными по своей интенсивности, почему тело и получит постоянное ускорение (с. 269–270).

Автор заблуждается, считая силу инерции приложенной к самому телу. По этой же причине автор ошибочно вводит силы инерции в уравнение живых сил (с. 17, ур. 15). Эту ошибку он компенсирует второй ошибкой, замечая, что работа сил инерции равна нулю для периода установившегося движения машины, он затем применяет полученное уравнение для неустановившегося движения! (с. 17, ур. 17).

Автор дает устаревшее и неточное определение: силой инерции называется сила, сопротивляющаяся (?) всякому изменению движения тела... (с. 259).

Автор смешивает силу со свойством инерции: "...силы инерции действуют на скорость машины регулирующим образом" (с. 261).

Автор путает понятия "сила инерции" и "движение по инерции", "...сила инерции, – говорит он, – может проявить свое действие не только на связях тела, но и на самом движении с ускорением тела, сообщая ему, при наличии соответствующей возможности, движение по направлению силы инерции..." (с. 268). Напутав и, очевидно, чувствуя свою вину перед читателем, автор пытается оправдаться ссылками на неразработанность вопроса и на другие не зависящие от него обстоятельства. На с. 271 мы читаем: "...еще раз подчеркиваем, что действие сил инерции настолько своеобразно, что считать его выясненным во всех проблемах динамики пока еще нельзя". На с. 267: "Еще в § 27 было указано, что не существует вполне научного и точного определения силы: тем меньше ясности во многих вопросах динамики, в особенности в самом понятии о силах инерции". Эти ссылки на неразработанность вопроса о силах инерции, исчерпывающе освещенного даже в популярной литературе... вызывают по меньшей мере удивление...»

Мы приводим почти полностью письмо Я.Б. Шора, так как оно несомненно написано с ведением и с помощью Г.К. Суслова, одного из виднейших механиков в стране и к тому же уже дискутировавшего по этим вопросам еще в начале XX в.

Замечания Я.Б. Шора можно распределить на две группы: прямые ошибки в тексте Л.Б. Левенсона и вопрос о реальности сил инерции, вся дискуссия и началась по этому вопросу.

В этом же номере "Вестника инженеров и техников" (1936 г., № 6) был помещен ответ Левенсона, в котором по существу ничего не было, кроме обвинения Шора в незнании литературы по динамике.

Вопрос, поднятый Я.Б. Шором, заинтересовал многих механиков и машиноведов: в редакции журналов и газет начали приходить письма с просьбой к Л.Б. Левенсону ответить по существу вопроса. Л.Б. Левенсон ответил сначала небольшой статьей, напечатанной в газете "Техника" (от 15 июля 1936 г.), а затем двумя большими статьями, опубликованными в "Вестнике инженеров и техников" (1936 г., № 6) и в философском журнале "Под знаменем марксизма" (1936 г., № 8). В последней статье под заглавием "Проблема сил инерции и динамика машин" он 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 инерции, тысячи машин строятся и работают на основании таких расчетов..., а "теоретики" упорно не считаются с практикой, по-прежнему настаивают на "нереальности" сил инерции, утверждают, что эти силы "вовсе не существуют", что они "воображаемые", что силы инерции – "условный геометрический вектор", видимый лишь для "удобства расчета", что это "чисто математическая фикция" и т.п.; они называют противоположные высказывания инженеров и конструкторов безграмотностью... Этот полный и недопусти-



мый 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».

Затем Л.Б. Левенсон приводит высказывания относительно сил инерции авторов 42 учебников и монографий по теоретической и прикладной механике. При этом, как он указывает, только 10 авторов высказались за реальность сил инерции. И в результате Л.Б. Левенсон приходит к ряду выводов, из которых наиболее существенные 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, сопротивления среды, силы упругости и силы инерции.

Сила инерции есть пассивная (реактивная) объемная сила, развиваемая каждой материальной частицей тела, движущегося с ускорением под действием внешней (активной) силы; сила инерции характеризует реальное сопротивление материи ускорению, а поэтому вполне реальна по происхождению, направлена против ускорения и по величине определяется известной формулой ( $C = m_j$ ).

Реальность силы инерции вытекает не только из свойства инертности материи, но также из третьего закона Ньютона (равенство действия и противодействия), из общего закона причинности и закона сохранения энергии, не говоря о подавляющем количестве фактов реального ее действия из разных областей современной техники, особенно машиностроения.

Действие силы инерции как кинетической реакции массы на сообщаемое ей извне ускорение воспринимается непосредственно той физической связью, которая передает массе это ускорение, причем связь понимается в самом широком смысле – не только как внешнее или другое тело, но и как внутренняя (молекулярная) связь между частями целого тела.

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 силы инерции также не может явно проявиться; когда ускоряющая сила действует непосредственно на каждую частицу тела,

минуя связи, она 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 как между всеми силами  $\Sigma P$ , включая силы связей, так и развиваемыми при движении с ускорением силами инерции  $\Sigma C$  с соответствующими знаками для направления каждой силы, так что всегда  $\Sigma P + \Sigma C = 0$ .

В № 11 в порядке дискуссии журнал "Под знаменем марксизма" опубликовал статью Г. Штейнберга, которая не только не внесла ясности, но усилила новыми ошибками высказывания Левенсона, а поэтому следующим авторам пришлось не только анализировать утверждения Левенсона, но и уделять внимание критике Штейнберга.

В № 12 того же журнала была опубликована статья математика С.Л. Соболева "О проблеме сил инерции". Он писал: «Так как по существу в защиту очевидно ошибочных высказываний Л.Б. Левенсона не выступил, да и не мог выступить ни один инженер или ученый, то возникшая дискуссия, открытая журналом "Вестник инженеров и техников", газетой "Техника", носила весьма своеобразный характер. Письмо товарищей, требовавших исправления левенсоновских ошибок..., оставалось без всякого ответа. В то же время сам Л.Б. Левенсон... пытается подменить обсуждение предложенных ему конкретных обвинений общей дискуссией по проблеме о природе сил инерции». С.Л. Соболев указал, что основной недостаток как книги, так и статей Левенсона "заключается в том, что он не сумел понять различия между фиктивной даламберовой силой, приложенной к движущемуся телу, и реальной силой, с которой это тело действует на связи. Он нигде не проводит строгого разграничения этих двух сил, приложенных одна фиктивно, другая реально к совершенно различным материальным объектам. В статье сделан полный разбор ошибок книги "Статика и динамика машин".

В том же номере журнала была опубликована статья Н. Слезкина, который напомнил о киевской дискуссии начала века. Тогда за реальность сил инерции выступал математик ("теоретик" по терминологии Левенсона) В.П. Ермаков, аргументы которого были те же самые, что и у "практика" Левенсона. Выступление В.П. Ермакова вообще не было поддержано, в частности ни одним из механиков тех лет (Н.Е. Жуковский, Д.К. Бобылев), а профессор Университета св. Владимира Н.Н. Шиллер ответил жесткой отповедью.

Дискуссия проходила в ряде журналов и в газетах. Почти все авторы статей критиковали ошибки Л.Б. Левенсона, кроме того, указывались и ошибки, допущенные другими участниками дискуссии. Одной из самых серьезных была статья профессора Е.Л. Николаи, подвергшего историко-критическому анализу сам принцип Даламбера как исходное положение всех недоразумений.

Дискуссия продолжалась и в 1937 г. статьей профессора В. Фридмана "О проблеме сил инерции", в которой был сделан анализ выступ-

лений Левенсона и указаны его ошибки, затем были указаны ошибки других лиц, принимавших участие в дискуссии. Позже было опубликовано еще несколько статей, а затем выступление Левенсона, который признал часть своих ошибок, но подчеркнул, что понятие "сила инерции" требует разъяснения.

В № 4/5 за 1937 г. были опубликованы выдержки из ряда статей, а также большая статья "от редакции" – "Итоги дискуссии о силах инерции", в которой вопрос был переведен на философскую почву, в частности было отмечено, что в киевской дискуссии В.П. Ермаков выступал против идеалистов Г.К. Сулова и Н.Н. Шиллера и поддерживал мнение реальности сил инерции. В сущности дискуссия не привела к какому-либо окончательному решению, что выявилось уже в наши дни, во второй половине XX в., в дискуссии о реальности сил инерции между академиками Л.И. Седовым и А.Ю. Ишлинским. Продолжать дискуссию в 1937 г. было уже небезопасно, тем более что в журнале "Под знаменем марксизма" отмечался идеализм некоторых участников дискуссии, что могло грозить плохими последствиями.

Таким образом, к концу 30-х годов наметились важные направления формирования отечественной теории механизмов и машин. Теоретическим основанием для нее стали труды П.Л. Чебышева, Л.В. Ассура, а также немецких машиноведов – Ф. Рело, Л. Бурместера, М. Грюблера. В 1936 г. наметилось и организационное оформление – в рамках АН СССР было создано Отделение технических наук с комиссиями по отдельным направлениям технических наук. В комиссию по машиностроению вошло семь бригад, из них бригаду по теории механизмов и машин возглавил Л.Б. Левенсон, ученым секретарем стал И.И. Артоболевский.

В 1936–1938 гг. на заседании комиссии с докладами выступили многие видные машиноведы. В.В. Добровольский в докладе "Основные принципы классификации механизмов" изложил основы построения механизмов по Ассуру. В докладе "Современное состояние теории механизмов и машин и ее прогресс за последние двадцать лет" Н.Г. Бруевич поднял вопрос о необходимости развития методов синтеза механизмов. А.П. Мальшев прочитал доклад "О применении прикладной механики в области текстильного машиностроения", в котором показал, как используются методы общей теории механизмов и машин в практике конкретной отрасли машиностроения.

С 1937 г. руководство бригадой было возложено на Н.И. Мерцалова. В том же году организован Институт машиноведения, и бригада по теории машин и механизмов включена в его состав. К началу 1938 г. отечественная школа механики машин получила организационное оформление: заседания комиссии преобразованы в постоянно действующий семинар. Обе дискуссии 30-х годов показали слабые места в науке о машинах и выявили направления ее дальнейшего развития. Выявлены первоочередные темы исследований. Это были

теория пространственных механизмов, общие методы кинематического и кинетостатического анализа механизмов, проблемы структуры и классификации механизмов, проблемы синтеза механизмов. К концу 30-х годов ведущими научными центрами в области отечественной науки о машинах стали кафедры прикладной механики в Московском текстильном институте, Московском институте химического машиностроения, Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского, Московском авиационном институте. В это время в теории машин и механизмов выявилась группа лидеров – И.И. Артоболевский, В.В. Добровольский, Н.Г. Бруевич, Г.Г. Баранов.

К этой группе по праву был причислен и С.Н. Кожевников.

**Начало творчества.**  
**Московский авиационный институт.**  
**Московский авиационно-технологический**  
**институт**

С.Н. Кожевников после окончания Индустриально-педагогического института был оставлен в нем аспирантом кафедры технической механики, которой руководил Г.Э. Проктор. Он сразу же приступил к проведению практических и лабораторных занятий со студентами по курсам "Техническая механика" и "Детали машин", а затем к самостоятельному чтению лекций. Одновременно по поручению руководства МИПИ он заведовал лабораторией сопротивления материалов.

В 1932 г. в связи с реорганизацией системы высшего образования в СССР МИПИ предполагалось объединить с Московским педагогическим институтом и в связи с этим были ликвидированы механические специальности, а следовательно, и аспирантура по механике. Поэтому Кожевников аспирантуру не закончил, однако этот начальный период его научного становления сыграл важную роль для всей дальнейшей научной и преподавательской деятельности Сергея Николаевича.

"Чрезвычайно большое влияние на мое научное формирование, – вспоминал впоследствии С.Н. Кожевников, – оказала группа механиков Индустриально-педагогического института, оставленная для окончания института по старому учебному плану и состоявшая из очень хорошо подготовленных и пытливых студентов". Для этой группы Сергей Николаевич прочел совершенно новый курс "Динамика станков" и провел по этому курсу практику на заводе "Самоточка" в Москве, где поставил экспериментальное исследование шепингов и долбежных станков с помощью новой и малоизвестной аппаратуры.

После объединения в 1934 г. МИПИ с Московским педагогическим институтом С.Н. Кожевников продолжил педагогическую работу в Московском авиационном институте доцентом кафедры прикладной механики.

Московский авиационный институт (МАИ) был основан в 1930 г. Первоначально на базе аэромеханического факультета Московского высшего технического училища и авиамоторного отделения Ломоносовского института было создано Высшее аэромеханическое училище в составе трех факультетов – моторного, самолетостроительного и воздухоплавательного. В августе 1930 г. училище было переименовано в Московский авиационный институт.

Среди двадцати девяти кафедр института в области механики машин работали кафедры деталей машин, кинематики и динамики механизмов, теории механизмов (прикладной механики). В 1934 г., когда в институте начал работать С.Н. Кожевников, в области теории машин и механизмов было три кафедры – прикладной механики, деталей машин, истории техники. Программа преподавания по всем специальностям включала двадцать пять дисциплин, в том числе теорию механизмов и машин, детали машин, подъемно-транспортные машины, гидравлику и гидравлические машины, а также спецкурсы и факультеты по расчету деталей и механизмов авиаприборов, проектированию оборудования самолетов, теории вибраций, истории техники.

Кафедрой прикладной механики в 1932–1941 гг. заведовал Г.Г. Баранов, который с 1932 г. начал совмещать эту работу с заведованием кафедрой прикладной механики в Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского. Он занимался разработкой некоторых вопросов кинематического и кинетостатического анализа, исследовал семизвенный пространственный механизм в общем виде и при помощи методов начертательной геометрии решил вопрос о построении положений этого механизма. Работа "Кинематика пространственных механизмов" стала основой его докторской диссертации. В 30-е годы – начале 40-х годов на кафедре начинали работать Б.В. Эдельштейн, Н.И. Левитский, Т.С. Жегалова, В.А. Зиновьев, М.М. Тишин, Л.Б. Левенсон, С.И. Пантелеев, И.П. Никитин.

Для С.Н. Кожевникова рассматриваемые годы были заполнены напряженной работой: организационной по созданию в МАИ лаборатории по теории механизмов и машин; преподавательской – по подготовке лекций, практических и лабораторных занятий, чтению и проверке студенческих работ. Очень много времени уделял Кожевников вопросу постановки курса теории механизмов и машин, курсовым проектам. Он всегда начинал лекцию по звонку и по звонку же ее заканчивал. Он никогда не позволял себе никаких отступлений, не старался вводными рассказами завладеть вниманием слушателей. Каждая лекция была продумана, прочувствована и представляла собой ясное и законченное целое. Эти лекции в определенной степени стали основой первых публикаций Сергея Николаевича в открытой печати – цикла статей "Основные понятия о машинах. Беседы с машиностроителем" (1934).

Становление С.Н. Кожевникова как ученого и педагога проходило в довольно трудное для науки о машинах время. В отечественном машиностроении были заложены основы новых важных его отраслей, что усилило внимание к проблемам структуры и классификации механизмов, разработке методов их кинематического и кинетостатического анализа, к теории пространственных механизмов.

Особое внимание приобретали исследования в области динамики машин.

В рассматриваемый период исследования вопросов динамики машин были ограничены главным образом задачами уравнивания

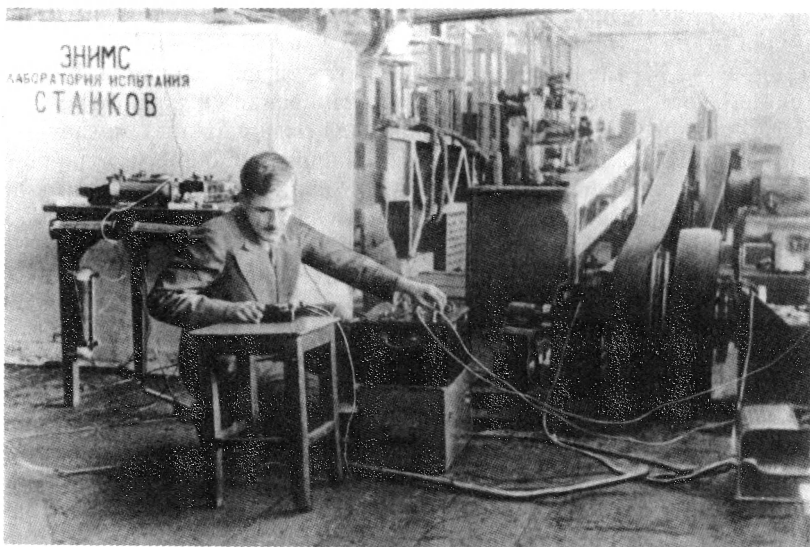
и определения коэффициента полезного действия. По этому направлению работали С.И. Артоболевский, И.И. Артоболевский, Б.В. Эдельштейн, В.А. Желиговский. Они продолжили исследования В.П. Горячкина "Силы инерции и их уравнивание" и рассмотрели вопросы уравнивания сил инерции для ряда сложных механизмов, применяемых в сельскохозяйственных машинах. Общие методы решения задач уравнивания в рабочих машинах со сложными кинематическими схемами предложил И.И. Артоболевский. Вопросами определения коэффициента полезного действия, в основном для разных типов редукторов, занимались Н.Г. Бруевич, Г.Г. Баранов, В.В. Добровольский.

К этому же периоду относится начало разработок экспериментальных методов исследования механизмов. Из механики машин были выделены вопросы трения, которые с вопросами износа и смазки деталей и сочленений машин составили новую научную дисциплину. Для решения ее задач начали применять в основном экспериментальные методы гидродинамики, технологии материалов, а также механики машин.

Однако все эти разработки еще не составляли комплексного динамического исследования машин. С.Н. Кожевников сделал первый шаг в направлении такого исследования машин: начал большой цикл работ по динамике рабочих машин (неустановившиеся процессы, вибрации и др.), в частности динамике станков, проводимый в Экспериментальном научно-исследовательском институте металлорежущих станков (ЭНИМС).

В 1934 г. Сергей Николаевич, по рекомендации Г.Э. Проктора, получил приглашение от А.А. Зернова, главного инженера научно-исследовательского сектора ЭНИМСа возглавить группу теоретических расчетов, но отказался, считая, что недостаточно опытен для такой работы, и попросил принять его на должность научного сотрудника. В ЭНИМСе Сергей Николаевич работал четыре года, сочетая это с преподавательской деятельностью в МАИ. Именно в ЭНИМСе он занялся главным образом разработкой вопросов динамики машин. К этому времени у него сложились новые идеи в области прикладной динамики, некоторые из них получили отражение в опубликованных им несколько позже работах "Динамические явления при разгоне станков, имеющих упругое звено в приводе", "Динамика неустановившихся процессов в станках", "Динамическое исследование продольно-строгального станка ЗПС" и др.

С.Н. Кожевников исследовал динамику разгона, торможения и реверсирования станков и других переходных режимов машины, например быстрого приложения или сброса нагрузки, причем при анализе неустановившихся процессов в станках впервые учитывались упругости связей (звеньев). Дифференциальные уравнения движения составлялись таким образом, что в результате вычислений оказывалось возможным непосредственно определять моменты сил упругости или же пропорциональные им напряжения. Пользуясь выведенными



**Испытание С.Н. Кожевниковым динамики металлорежущего станка.  
1935 г.**

уравнениями можно было анализировать также процесс, происходящий при соударении двух систем масс с упругими связями и определять те напряжения, которые возникают в процессе удара.

В этом цикле работ Сергей Николаевич рассмотрел различные законы изменения внешних сил, действующих на систему, что позволяло определять напряжения, которые возникают при различных соотношениях времени нарастания внешнего момента и периода собственных колебаний системы. Для рассмотрения законов изменения внешних сил Кожевниковым были выявлены условия, при которых динамические напряжения могут быть приближены к статическим напряжениям. Вывод дифференциальных уравнений изменения моментов сил упругости в связях производился с некоторой идеализацией системы, поэтому для проверки применимости полученных теоретических результатов был использован эксперимент на примере исследования продольно-строгального станка. Для этой цели Сергей Николаевич построил специальную аппаратуру, позволяющую проводить динамические испытания, в частности был построен оригинальный торсионный электрический динамометр, работавший по принципу изменения емкости, введение которого в цепь исследуемой машины не изменяло жесткостей связей. Результаты экспериментального исследования хорошо совпадали с теоретическими разработками.

Одновременно с исследованием неустановившихся процессов в машинах во время работы в ЭНИМСе С.Н. Кожевников начал цикл работ в области колебаний и вибраций в станках, связанный с реальным конструированием и проблемами станкостроения. Работы имели



теоретический и экспериментальный характер. В теоретических работах этого периода ("Колебания шпинделей быстроходных токарных станков", "Расчет на колебания направляющей станка типа "Брайант", "О вибрациях в станках", "Колебания многоигольной швейной машины") решались задачи определения частот собственных колебаний системы масс с распределенной по сложному закону массой, т.е. задачи, часто встречающиеся в практике машиностроения (шпиндели станков, валы и др.) и вызывающие затруднения у конструкторов при расчетах на колебания.

Теоретические разработки в области колебаний станков представляли развитие идей Прагера, посвященных определению частот колебаний сложных систем с распределенной и сосредоточенной массами.

Экспериментальные работы по колебаниям были поставлены С.Н. Кожевниковым в целях изучения влияния конструктивных элементов на частоту колебаний, например посадки втулок на валу, крепления на направляющих, и др. Результаты экспериментальных исследований нашли отражение в таких работах, как "Влияние посадки втулок на частоту колебаний вала", "Вибрации траверс продольно-строгальных станков", "Исследование поперечно-строгального станка типа Батлер" и др.

Теоретические и экспериментальные разработки этих лет отражали значительно возросший профессионализм Кожевникова, его умение концентрировать внимание на главном, способность выделять результаты и характеризовали его как зрелого ученого. В этих работах в ясной форме содержалась новая идея о необходимости учета реальных физических свойств звеньев машины при ее проектировании и анализе работы.

Эта идея, развитая в дальнейшем, легла в основу метода динамического расчета машин, при котором рассматривалось влияние упругости на нагрузки элементов машины и в зависимости от значения и характера изменения внешних моментов сил движущих и сил сопротивления определялись значения указанных нагрузок. Такая постановка задачи о динамических нагрузках звеньев машины была принципиально новой в прикладной механике, а разработка методов таким образом поставленных задач стала новым этапом развития науки о машинах. Внесение в динамику машин понятия об упругости их элементов (в отличие от общепринятых представлений об абсолютной жесткости последних) явилось не простым уточнением; оно позволило рассматривать неустановившиеся механические процессы более правильно и всесторонне и по существу привело к открытию в этих процессах новых, ранее не известных явлений.

Как уже отмечалось, во второй половине 30-х годов внимание отечественных машиноведов привлекли проблемы анализа и синтеза механизмов, теории пространственных механизмов.

Создание методов синтеза механизмов велось в двух направлениях: разрабатывались точные методы, позволяющие кинематически точно

воспроизвести заданные формы движения, и методы приближенного синтеза, с помощью которого можно было воспроизвести заданную форму движения приближенно, но с достаточной для практики точностью. И если теоретическое обоснование методов приближенного синтеза, сложившихся исторически первыми, дал еще в середине XIX в. П.Л. Чебышев, то для отечественных машиноведов 30-х годов XX в. исходным стало первое направление. Предмет исследования составляли механизмы, в состав которых входили звенья, соединенные как высшими, так и низшими кинематическими парами – centroидные, зубчатые, кулачковые и некоторые другие механизмы. Вопросами геометрического синтеза механизмов занимался И.И. Артоболевский, динамического синтеза – Н.Г. Бруевич, Я.Л. Геронимус, Н.И. Колчин, Х.Ф. Кетов, В.А. Юдин.

Существенно отметить, что исследования С.Н. Кожевникова в области анализа и синтеза механизмов были выдвинуты непосредственно задачами текстильной промышленности. По рекомендации А.П. Малышева, Сергей Николаевич в 1938–1941 гг. работал по совместительству в Научно-исследовательском институте швейной промышленности в Москве, что обусловило тематику разработок, связанную с анализом работы технологических швейных машин. Это, прежде всего, исследование пространственных механизмов в швейных машинах с двухниточным цепным стежком, расчет многоигольной швейной машины, исследование и расчет полуавтомата для пришивки талонов, механизмов универсальной швейной машины четвертого класса, исследование и проектирование кулачков швейных машин для пришивки накладок на петлю шинели и др. Кроме того, под руководством Сергея Николаевича в эти годы были выполнены проекты быстроходных швейных машин МЦ-2 и СМ-1, запущенных затем в серийное производство.

В отзыве Института швейной промышленности на эти исследования С.Н. Кожевникова отмечалось, что им разработаны новые и оригинальные методы анализа и синтеза пространственных механизмов универсальных и специальных швейных машин, представляющие собой большой вклад в науку о механизмах технологических (швейных) машин.

Значение для промышленности работ С.Н. Кожевникова заключается в том, что на основании методов, изложенных в этих работах, были созданы новые, отечественные швейные машины, более совершенные, чем аналогичные заграничные машины, а часть из них построена на совершенно новой основе. Работы С.Н. Кожевникова отличаются целеустремленностью и отсутствием абстрактных исследований. Каждая из решенных задач по анализу и синтезу механизмов вытекала из практических потребностей промышленности, требующих новых и высокопроизводительных машин".

Исследования С.Н. Кожевникова в области анализа и синтеза механизмов были обобщены в работах "К вопросу о кинематике и синтезе пространственных механизмов", "Исследование и расчет про-

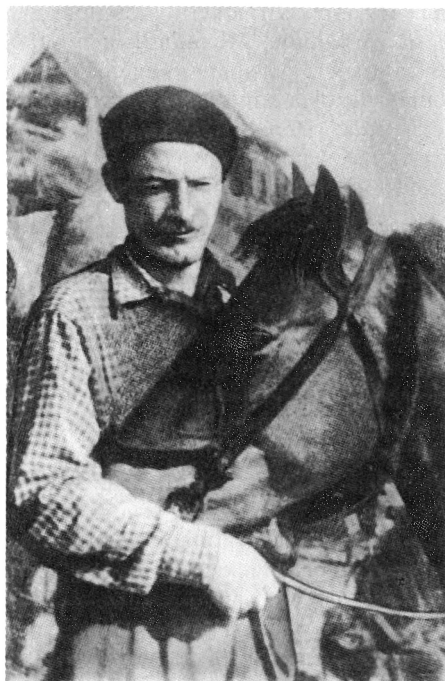
пространственных механизмов швейных машин", а также в учебнике для вузов легкой промышленности и монографии "Механика швейных машин" (в соавторстве с М.М. Пруслиным), которые увидели свет в 1947–1948 гг. В них предложены общие методы определения скоростей и ускорения сложных пространственных механизмов и показаны приложения этих методов к конкретным механизмам ряда конструкций рабочих машин и машин-двигателей. Особенно ценной частью этих трудов стала разработка методов синтеза таких механизмов по заданным условиям.

Отметим, что с помощью созданных С.Н. Кожевниковым методов в дальнейшем были выполнены расчеты ряда конкретных механизмов, применяемых в швейных машинах, например механизмов-полуавтоматов для выполнения работ по пришивке фурнитуры, и некоторых других сложных механизмов. Прикладное значение этих методов синтеза велико, они находят себе применение при расчете новых машин-полуавтоматов и автоматов.

В конце 30-х годов развитие авто-, тракторо-, авиастроения обусловило серию исследований по совершенствованию различных типов зубчатых зацеплений, корригированию зубчатых колес, повышение интереса к планетарным и дифференциальным механизмам. В 1938–1939 гг. Сергей Николаевич опубликовал серию работ, посвященных синтезу зубчатых механизмов. Это – монография "Эпициклические передачи", а также статьи "О подборе чисел зубьев редуктора типа Джемса", "Эпициклические передачи с плавным изменением передаточного отношения". В этих работах рассматривается построение новых механизмов, которые предназначаются для изменения передаточного числа в довольно широком диапазоне, рассмотрены пути определения оптимальных параметров планетарных редукторов по заданным условиям.

Даже беглое знакомство с работами Кожевникова, выполненными в 1934–1941 гг., показывает, как интенсивно работал он в эти годы. Он решил ряд ключевых, принципиально новых проблем динамики машин, занимался многими вопросами кинематики и синтеза плоских механизмов, теории пространственных механизмов, структуры и классификации механизмов; он опубликовал монографию "Эпициклические передачи", написал ведущие главы "Строгальные станки" книги "Металлорежущие станки", подготовил задачник по теории механизмов и машин на основе практических занятий, проводимых им в Московском авиационном институте, начал работу по подготовке учебника по теории механизмов и машин.

Плодотворная новаторская деятельность С.Н. Кожевникова в Москве получила должное признание. В 1937 г. по рекомендации А.П. Малышева и руководства ЭНИМСа ему была без защиты присуждена степень кандидата технических наук; в 1940 г. Сергей Николаевич блестяще защитил в Московском высшем техническом училище докторскую диссертацию "Динамика неустановившихся процессов в машинах", в 1941 г. он стал заведующим кафедрой теории механизмов



По Алтаю на лошадях.  
1940 г.

и машин Московского авиационного института; в этом же году Ученым советом МАИ Сергей Николаевич был представлен к званию профессора (утвержден в этом звании в 1942 г.) по этой кафедре. Среди членов совета были Н.С. Аржанников, В.Ф. Юргенс, Н.В. Иноземцев.

Начавшаяся Великая Отечественная война вынудила уже в первые месяцы эвакуировать заводы, фабрики, научные учреждения и учебные заведения в восточные районы страны. Началась эвакуация и части Московского авиационного института в Казахстан в Алма-Ату. Она проходила в октябре–ноябре 1941 г., а уже 2 февраля 1942 г. в МАИ был возобновлен учебный процесс. В Алма-Ату было вывезено 2 токарных, 5 сверлильных, 5 фрезерных станков. Сергей Николаевич отвечал за

их сохранность. На 1 января 1942 г. они все были установлены и на них можно было работать. Кафедру теории механизмов и машин возглавил Сергей Николаевич, а деталей машин – В.Н. Беляев. Директором МАИ в Алма-Ате стал Н.Ф. Семичастный, заместителем директора по научно-исследовательской работе – Н.В. Иноземцев. Перед авиационным институтом встала задача ускоренной подготовки квалифицированных кадров, научная работа его сотрудников была направлена на создание новой авиационной техники, разработку системы вооружения самолета.

Сергей Николаевич активно включился в разработку оборонной тематики, не оставляя при этом исследования в области динамики машин, анализа и синтеза механизмов, в частности в области синтеза кулачковых механизмов. Эти исследования нашли отражение в опубликованных уже после войны работах, из которых важнейшими являются, например, "К вопросу о выборе закона движения ведомого звена", "Проектирование кулачковых механизмов с плоским коромыслом". Им были проведены исследования, связанные с построением планов ускорений сложных плоских механизмов. "В одной из бесед на кафедре прикладной механики, – вспоминал Сергей Николаевич, – Г.Г. Баранов высказал утверждение, что геометрические места одно-

именных вершин планов относительных скоростей и ускорений – параллельны". Сергей Николаевич сформулировал и доказал ряд теорем для построения ложных планов ускорений и показал, что следствия, вытекающие из этих теорем, совпадают с утверждением Г.Г. Баранова.

В Алма-Ате С.Н. Кожевников выполнял большую организационную работу. Он был ученым секретарем Ученого совета института, в состав которого входили Н.С. Аржанников, М.Ф. Широков, А.В. Квасников, В.Ф. Юргенс, Н.В. Иноземцев и др. Сергей Николаевич входил в комиссию по присвоению студентам персональных стипендий. Весной 1943 г. в МАИ была проведена научно-техническая конференция. Сергею Николаевичу как председателю оргкомитета конференции необходимо было держать в поле зрения множество вопросов: организацию работы секций – физики, механики и математики; самолетостроения; моторостроения; экономики и организации промышленности; составление программы, общей компоновки пленарного и секционных докладов. На конференции Кожевников выступил с докладом "О подборе числа зубьев колес редуктора типа Джемса". Очень часто, помимо преподавательской работы, Сергей Николаевич вместе со студентами выезжал на уборочные работы, помогая фронту продовольствием.

В 1943 г. МАИ возвратился из эвакуации и некоторое время С.Н. Кожевников работал на кафедре теории механизмов и машин института профессором.

В ноябре 1943 г. по предложению наркома авиационной промышленности А. Шагурина и председателя Всесоюзного комитета по делам высшей школы (ВКВШ) при СНК СССР А. Кафтanova Сергей Николаевич принял на себя руководство кафедрой теории механизмов и машин Московского авиационно-технологического института (МАТИ), формально оставаясь заведующим аналогичной кафедрой Московского авиационного института\*. Основанный в 1940 г. на базе Московского института инженеров гражданской авиации МАТИ только возвратился в Москву из Новосибирска, где находился в эвакуации почти два года. В это трудное военное время нужно было быстро налаживать педагогический процесс, заполнять кафедры, факультеты квалифицированными преподавателями: стране срочно требовались новые авиационные кадры. Институт готовил инженеров-технологов и инженеров-механиков, специалистов в областях горячей обработки и холодной штамповки металлов в авиастроении, технологии механической обработки станков и инструмента в авиастроении, технологии обработки неметаллических материалов в авиастроении. Обучение студентов проходило на авиационно-технологическом и авиамеханическом факультетах, 29 кафедрах, среди которых кафедра теории механизмов и машин относилась к профилирующей. Ее коллектив был небольшим: доцент А.Н. Кононов, ассистент Ю.Н. Герасимов, инженер Н.А. Меретяков.

---

\* Приказ о переводе С.Н. Кожевникова из МАИ в МАТИ был принят лишь 22 марта 1944 г.

С глубоким чувством ответственности и некоторой долей горечи, ведь с МАИ связывало десятилетие плодотворной работы, творческого роста, эвакуации и возвращения в Москву, Сергей Николаевич приступил к заведованию кафедрой. С его приходом прежде всего развернулась работа по приведению в порядок сохранившегося небольшого оборудования кабинета кафедры. Последняя размещалась в небольшой комнате старой школы, служила одновременно учебной аудиторией; поэтому сделать кабинет действующим сразу не удалось и усилия сосредоточились на создании в скором будущем лаборатории по теории механизмов и машин.

Кожевникову пришлось дочитывать курс теории механизмов и машин, начатый в Новосибирске А.Н. Кононовым. Вполне естественно, что сразу же выявились разный подход и разный метод преподавания, значительные отставания в освоении материала, вызванные большим сроком его слушания – 11 месяцев, отсутствие у студентов самых элементарных математических знаний. Все это сильно тормозило дальнейшее прохождение курса, и для преодоления возникших затруднений Сергей Николаевич начал проводить усиленные консультации, дополнительно перечитывать лекции по структурному и кинематическому анализу механизмов. Верный своей позиции о значении практических навыков в педагогическом процессе, он ввел в учебную программу по теории механизмов и машин лабораторную работу по составлению студентами схем механизмов и определению структуры механизмов. Сергей Николаевич считал, что такая работа необходима, с одной стороны, в целях глубокой проработки студентами чрезвычайно важной главы о структуре и классификации механизмов, лежащей в основе всей кинематики и динамики, а с другой стороны, в целях привития навыков правильного составления схем механизмов.

К преподавательской деятельности добавилась еще и большая организационная: "в целях обеспечения систематического руководства научно-исследовательской и издательской работой профессорско-преподавательского коллектива института" приказом ректора МАТИ А.М. Попова в ноябре 1943 г. был создан научно-исследовательский отдел (НИО). Руководство отделом возлагалось на Сергея Николаевича, которому вменялось "разработать и представить на утверждение положение о НИО, штат НИО на 1943/44 г., немедленно приступить к оформлению плана научно-исследовательской работы и плана издания учебных пособий". Перед Кожевниковым встала трудная задача подбора и рекомендации кафедрам актуальной и комплексной для института научно-исследовательской тематики, составления общего плана исследований, учет их выполнения и внедрения в промышленность достигнутых результатов путем опубликования их в "Трудах" института, рассылки рукописных экземпляров на заводы, организации командировок исполнителей для инструктажа. Надо было проводить совместно с кафедрами и заинтересованными организациями обсуждение частичных и окончательных результатов исследований; устанавли-

ливать и постоянно поддерживать связь с промышленными предприятиями; аннотировать периодическую литературу по вопросам технологии и материаловедения, публиковать экспресс-информацию.

Решение данной задачи отнимало много времени и усилий: хотелось поставить научно-исследовательскую работу в МАТИ на высокий уровень, а для этого в возможно более короткий срок нужно было ознакомиться со всеми кафедрами, уяснить программы их научных разработок.

Уже через несколько месяцев работы в этом направлении Сергей Николаевич представил Ученому совету института подробный и глубокий анализ состояния научно-исследовательской деятельности МАТИ. Подробно его охарактеризовав, он заострил внимание на необходимости тесной связи проводимых исследований с экспериментальной проверкой полученных результатов, а также с производством. Если для разработок в области естественных наук, – подчеркивал Сергей Николаевич, – "...требуется лишь библиотека, бумага, карандаш и работа мысли", то для работы в области специальных наук этого недостаточно и "...требуется создание лабораторной базы и производственной базы (производственные мастерские), без которых никакая научно-исследовательская деятельность практически невозможна". Выход из создавшегося положения, когда "очень слабо развита, выражаясь мягко", экспериментальная база института, С.Н. Кожевников видел в значительном переносе научных разработок специальных технологических кафедр на заводы, "...которые заинтересованы в проведении научно-исследовательской работы и могут предоставить для ее ведения все возможности". С целью наибольшей пользы производству, обеспечения комплексности проводимых разработок, сужения разбросанности их тематики, последняя должна была, по мнению С.Н. Кожевникова, ставиться научно-техническим отделом Наркомата авиационной промышленности, который должен сосредоточить в себе все то, чем живет, чем интересуется промышленность, который должен быть координатором исследовательской тематики.

Как ни странно, но такое видение решения вопроса научно-исследовательской работы в институте не было понято отдельными членами совета, и Сергею Николаевичу на примере ряда специальных кафедр (сварки, материаловедения, производства самолетов, металлорежущих станков) пришлось отстаивать реальность и правильность своей точки зрения. В результате Ученый совет принял решение о необходимости срочных мер по оборудованию лаборатории и производственных мастерских для создания базы по выполнению научно-исследовательской работы; о рекомендации специальным технологическим кафедрам практиковать выполнение научных изысканий на соответствующих заводах.

Получило поддержку Ученого совета института и предложение Сергея Николаевича об организации при НИО конструкторско-чер-

тежного бюро, а для оформления, систематического издания и последующего распространения научных трудов института – типографии, причем на С.Н. Кожевникова была возложена обязанность контроля и руководства за организацией этих служб института. Кроме того, Сергею Николаевичу как руководителю НИО института добавлялась еще работа по организации лекционного бюро института, составлению проспекта тем научно-технических докладов в целях оказания научно-технической помощи заводам Наркомата авиационной промышленности.

Одной из важнейших сторон деятельности научно-исследовательского отдела Сергей Николаевич считал подготовку кадров высшей квалификации. Чрезвычайно большое значение в этом направлении имело, по его мнению, участие талантливой молодежи в научно-исследовательской и кружковой работе. С этой целью он собрал группу студентов и выступил перед ними с предложением организовать на младших курсах по интересующим направлениям науки студенческие семинары, а студентам старших курсов, наиболее успевающим в учебе, принять в любой, хотя бы и элементарной форме, участие в научных изысканиях, конечно же без ущерба для их учебной работы. Результатом этой инициативы Сергея Николаевича стала организация нескольких кружков-семинаров: по физике, которым руководил Кронгауз, по математике под руководством И.С. Кукула, по сопротивлению материалов во главе с С.В. Серенсенем. Ряд студентов-дипломников были привлечены кафедрами сопротивления материалов, литейного производства, металлорежущих станков к активной научно-исследовательской деятельности с тем, чтобы включить впоследствии в дипломные работы элементы исследовательского характера.

Инициатива Сергея Николаевича не осталась незамеченной студентами, молодыми преподавателями МАТИ. Вокруг него также начала объединяться молодежь из числа тех, кого он учил в Московском авиационном институте, студенты старших курсов МАТИ, заинтересованные проблемами механики машин, сотрудники кафедр теории машин и механизмов, деталей машин, металлорежущих станков – Ю.М. Герасимов, И.Э. Беккер, А.Г. Налджанц, А.М. Пруслин и др. По предложению Кожевникова Ю.М. Герасимов занялся исследованием вопросов кинематики и динамики механизмов для сообщения вращательного движения с паузами, которое переросло в диссертационную работу "Обобщенная теория дезакциальных и радиальных мальтийских механизмов". Официальным оппонентом на ее защите был С.О. Доброгурский, который прежде всего отметил большую практическую значимость работы.

Большую помощь и поддержку оказал Кожевников в эти годы И.Л. Дегтяреву при написании и защите диссертационной работы "Основы взаимозаменяемости в самолетостроении" (по его мнению, в работе "разбираются вопросы чрезвычайно интересные"); А.Г. Арбузову при защите диссертации "Устойчивость ориентирующего места трехко-



лесного шасси самолета"; Б.Д. Невяжскому – "Элементарная теория неравенств", Б.В. Шаскольскому – "Осуществление наивыгоднейшего режима резания на станках со ступенчатыми рядами чисел оборотов и подач" и другим аспирантам и соискателям ученой степени МАТИ.

В феврале 1944 г. Сергея Николаевича избрали членом Ученого совета МАТИ. Работа в совете и в научно-исследовательском отделе во многом помогла ему сблизиться с С.В. Серенсенем, который возглавил в институте кафедру сопротивления материалов и занимался в эти годы разработкой метода конечных разностей при определении концентрации напряжений, был ведущим экспертом по вопросам прочности при анализе случаев разрушения различного рода конструкций. Творческие отношения сложились у него с Д.А. Лебедевым, заведующим кафедрой деталей машин, научные интересы которого были связаны с расчетом дисков на прочность и жесткость под действием крутящего момента; И.С. Куклесом, В.В. Немыцким, Д.М. Тоидзе, которыми на кафедре математики изучались микроструктуры особых точек на плоскости и в многомерном пространстве, вопросы нелинейных колебаний, а также эффективные методы разыскания периодических решений в качественной теории дифференциальных уравнений. Дружеские отношения были у Сергея Николаевича с И.Е. Конторовичем (кафедра термической обработки металлов), О.М. Музалевским (кафедра обработки металлов давлением), И.Л. Дегтяревым (кафедра организации и экономики производства), который заменил Кожевникова в научно-исследовательском секторе института после его отъезда в Днепропетровск.

Большая перегруженность педагогической и организационной работой не мешала С.Н. Кожевникову продолжать активные исследования в области динамики машин и начать важный цикл работ по механике автоматических машин.

В условиях военного времени, строгой трудовой дисциплины, когда приходилось отдавать институту по 10–12 часов в день (приказом директора МАТИ А.М. Попова рабочий день начинался в 8.00, а заканчивался в 18.00), на научные изыскания оставались только вечерние и ночные часы, да и материальные и бытовые условия жизни, по воспоминаниям Сергея Николаевича, были довольно тяжелыми. Большого внимания и заботы требовали дети: Юрию было 13 лет, Андрею – 6, а Наташе – 2 года.

Идея заняться вопросами механики машин-автоматов возникла у Сергея Николаевича, очевидно, под влиянием работы И.И. Артоболевского "Основы кинематики машин-автоматов", прослушанной им на заседании семинара по теории машин и механизмов 1 ноября 1943 г. И.И. Артоболевский исследовал вопросы классификации машин-автоматов, кинематики их рабочих органов и установил, что между теоретической производительностью автомата и его кинематикой существует определенная зависимость. Правильным выбором соответствующих кинематических параметров можно увеличить производи-

тельность автомата, не нарушая при этом условий выполнения заданного технологического процесса в части требований, предъявляемых им к кинематике и динамике рабочих органов.

Эта работа Артоболевского открыла новое научное направление в науке о машинах автоматического действия. Естественно, что Кожевников, остро чувствующий все новое, нужное промышленности, активно включился в разработку вопросов механики автоматических машин, в частности, он наметил провести серию работ по автоматизации процессов в металлургической промышленности. В этой области Сергей Николаевич предполагал решить ряд задач по вопросам динамики (устойчивости) регулирования и по вопросам синтеза специальных механизмов. Кроме этого, он хотел продолжить исследования динамических явлений в машинах, обусловленных наличием упругих звеньев, имеющих чрезвычайно большое значение для ряда машин. Этот цикл работ, в которых рассматривались машины с переменной приведенной массой, следовало, по мнению Сергея Николаевича, проводить на основе экспериментальных исследований. Этим Кожевников поставил совершенно новую, большую и чрезвычайно актуальную задачу динамики машин. Как он сам отмечал: "...на сегодняшний день исследований в этой области почти нет".

Для ее решения требовалась специальная лаборатория, и свою деятельность в направлении решения поставленной задачи ученый видел в выполнении следующих работ в организуемой лаборатории:

1. Анализ работы аппаратуры для автоматического регулирования процессов, используемой на отечественных заводах, с целью рационального ее использования. Этот анализ может быть проведен в результате лабораторного и производственного испытаний аппаратуры отечественного и иностранного производства, сравнения аналогичных образцов и выбора наилучших.

2. Проектирование, изготовление и испытание новой аппаратуры, по возможности простой и надежной, которая могла бы быть использована на отечественных заводах. В этой части, считал Сергей Николаевич, работу можно считать законченной только после обучения и инструктажа персонала, обслуживающего на заводах аппаратуру по автоматическому регулированию.

3. С целью популяризации идей по автоматическому регулированию в лаборатории должны создаваться монографии, популярные, рассчитанные на широкий круг читателей из числа заводских работников, и в виде научных отчетов о тех исследованиях, которые проведены лабораторией.

В лаборатории должны изготавливаться опытные образцы аппаратуры, по возможности малыми сериями.

В условиях работы в МАТИ решение столь широко поставленной задачи было практически невозможно. И уже через год заведования кафедрой теории механизмов и машин МАТИ Сергей Николаевич

поднял перед заместителем председателя ВКВШ при СНК СССР А. Сеницыным вопрос о своем переводе в Днепропетровский металлургический институт заведующим кафедрой теории машин и механизмов. "Мой перевод из Москвы в Днепропетровск, против которого резко возражали руководящие работники МАТИ и ГУУЗа НКАП, – писал впоследствии Кожевников, – был вызван желанием обеспечить материальной базой проведение научно-исследовательских работ в области динамики машин, а именно динамики машин с упругими звеньями и автоматического регулирования. Оба цикла работ имеют чрезвычайно большое значение для металлургической промышленности, что должно обеспечить помощь Наркомчермета в организации соответствующей лаборатории, в которой могут быть поставлены работы на указанные выше темы".

## **Становление исследований в области динамики и автоматизации металлургических машин. Днепропетровский металлургический институт и Институт черной металлургии АН Украины**

Сергей Николаевич приехал в освобожденный от немцев Днепропетровск летом 1944 г. Ему было 38 лет и от тяжелого радикулита он опирался тогда на палку. Приехал Сергей Николаевич с женой Надеждой Сергеевной Дядюшиной и детьми – Андрюшей и маленькой Наташей. Он получил квартиру в "профессорне" – так и сегодня называют трехэтажный дом рядом с Днепропетровским металлургическим институтом (ДМЕТИ), построенным для профессоров в 1912 г.

До появления Сергея Николаевича на кафедре теории машин и механизмов долго не было ни профессора, ни опытных зрелых специалистов. Ею заведовал выпускник ДМЕТИ Я.И. Есипенко. Кроме него и Л.И. Цехновича, также выпускника ДМЕТИ, работали еще два ассистента и лаборантка. Они учили студентов с полной отдачей сил и знаний.

С приездом Кожевникова кафедра расположилась в очень скромном, построенном перед войной руками студентов и преподавателей корпусе, получившем название "нового". Ей отвели крохотный кабинет для Сергея Николаевича, две аудитории и помещение для мастерской. Всюду было холодно, кроме некоторой мебели – пусто. И до войны кафедра была очень бедной, а во время оккупации исчезло и то немногое, что имелось. Впоследствии Сергей Николаевич вспоминал: «При кафедре ТММ до оккупации Днепропетровска был только кабинет по теории механизмов. В момент принятия кафедры никакого оборудования ни в кабинете, ни в лаборатории не было. Литературы отечественной и зарубежной очень мало, особенно по теории механизмов. В библиотеке нет ни одного экземпляра книги Х.Ф. Кетова и Н.И. Колчина "Теория механизмов и машин", единственно подходящего учебника по теории механизмов».

Встреча с городом детства и юности оказалась грустной. Грустной, но не лишенной оптимизма, стала встреча с ДМЕТИ: начинать приходилось практически на пустом месте и, создавая кафедру как научный и педагогический центр, предстояло действовать по многим направлениям.

Кафедра должна была обеспечивать чтение курсов деталей машин, а также теории машин и механизмов для студентов механической

специальности, и чтение, по сути дела, комплексных курсов на всех остальных специальностях института. Поэтому на кафедре, по мнению Сергея Николаевича, должны были бы быть:

1. Кабинет, оборудованный моделями механизмов, деталями машин, препарированными узлами машин, редукторами и др; демонстрационными чертежами по курсу деталей машин и плакатами по курсу теории механизмов.

2. Учебная лаборатория для выполнения работ по теории механизмов и машин, согласно программ, а именно, по геометрии масс, обмеру зубчатых колес, тахометрии и кинематике, по определению коэффициентов трения и к.п.д. механизмов, по динамике механизмов.

3. Кабинет проектирования, оборудованный на 50 человек. В нем должны быть сосредоточены все справочные материалы: нормы и стандарты, механические характеристики материалов и прочее; далее студентам необходимо предоставить возможность ознакомиться с конструктивными вариантами выполнения различных узлов, с правильными и неправильными конструктивными решениями и прочее, т.е. в кабинете проектирования должны быть все материалы, по которым студент мог бы выяснить почти все вопросы, возникающие у него в процессе проектирования.

Нормальное преподавание курсов требовало также, как считал Сергей Николаевич, составления ряда учебных пособий, отражающих специфику ДМЕТИ и лаборатории, к которым он относил:

1) обязательные задания по курсу теории механизмов;

2) задания на проектирование деталей машин;

3) руководство для выполнения лабораторных работ по теории механизмов и машин.

Перечисленные работы, которые предстояло выполнить, могли быть сделаны удовлетворительно только при соответствующем материальном подкреплении в виде измерительной аппаратуры, установок, электрооборудования, станков и т.д.

Первые шаги по созданию кабинета начались с того, что на заводских складах металлолома и других местах было подобрано значительное количество деталей трансмиссионных устройств, редукторов, коробок скоростей и др. Для приведения их в порядок была создана механическая мастерская, в которой изготовлялись приборы и приспособления для проведения опытов. Сергей Николаевич потратил массу энергии, чтобы в то труднейшее время добыть, в основном на заводах, станки, инструмент и другое необходимое оборудование. «Никогда не забуду, – вспоминал Л.И. Цехович, – как мы с Сергеем Николаевичем во главе, на своих плечах тащили по коридору первого этажа, как бурлаки, новенький токарный станок "Урд", полученный по ленд-лизу и ставший гордостью мастерской». Сергей Николаевич подобрал и группу энтузиастов-мастеровых во главе с Андреем Кирилловичем Козленко. Будучи оружейным мастером в войну, Козленко сделал много добрых дел для проведения научных работ на кафедре. Он мог



**С.Н. Кожевников**  
**за работой над учебником**  
**"Теория машин и механизмов".**  
**1940 г.**

сделать буквально все, что требовалось для проведения экспериментов. Андрей Кириллович работал с Сергеем Николаевичем много лет в Днепрпетровске и был включен соавтором в отчеты и статьи кафедры. Группа начала активно работать над созданием экспонатов по чертежам сотрудников кафедры и над самостоятельной разработкой различных конструкций, необходимых для натуральных экспериментов, которые стали проводиться сотрудниками кафедры в трудных эксплуатационных условиях работы металлургического оборудования.

Параллельно с созданием механической лаборатории Сергей Николаевич принялся за оснащение кафедры наглядными пособиями: модели механизмов искусно выполнял А.К. Козленко, вычерчивались учебные плакаты, которые положили начало обширной библиотеке плакатов и содержание которых строго увязывалось с конкретным материалом читаемых лекций.

Кафедра работала и жила дружно: Сергей Николаевич сумел ее сплотить. В дни его рождения у него дома собирались все – человек тридцать, пир шел горой. Сергей Николаевич танцевал охотно и красиво. Но кафедра с полной отдачей и работала. Был значительно увеличен ее учебно-вспомогательный персонал, началось создание специальной научно-исследовательской лаборатории. Сергей Николаевич придавал этому особое значение, поскольку наличие научно-исследовательской лаборатории, по его мнению, позволит проводить подготовку научно-педагогических кадров, которая могла быть особенно хорошо поставлена в период организации лаборатории, когда молодые специалисты, студенты старших курсов принимали бы в этом самое непосредственное живое участие. Имея это в виду, Кожевников поднял перед советом ДМЕТИ вопрос о создании при кафедре аспирантуры.

Первые результаты немногочисленной вначале кафедры в области техники эксперимента нашли отражение в коллективной работе С.Н. Кожевникова, Я.М. Раскина, Л.И. Цехновица и др. "Аппаратура для исследования работы машин" (1953). В ней описывалось более двадцати приборов, спроектированных и изготовленных на кафедре: аппаратура для измерения и регистрации перемещений, снятия цикло-

грамм, определения скоростей и ускорений, для измерения сил и моментов сил.

Становление кафедры совпало по времени с бурным развитием в послевоенное время машиностроительной промышленности, что естественно оказало влияние на развитие науки о машинах. Определилась тенденция перехода от решения чисто теоретических задач, недостаточно связанных с практикой, к решению проблем, определяемых насущными потребностями промышленности.

При восстановлении разрушенной во время войны промышленности было целесообразно произвести в первую очередь хотя бы частичную модернизацию механического оборудования для повышения его производительности и автоматизации управления работой отдельных агрегатов, поскольку, как оказалось, требованиям надежной автоматизации многие машины не удовлетворяют. В связи с этим по инициативе Сергея Николаевича в ДМЕТИ был поднят вопрос о подготовке кадров в области автоматизации технологического оборудования и в том числе оборудования металлургической промышленности. Сергей Николаевич подчеркивал, что ни одна из отраслей промышленности не имеет такого разнообразия технологического оборудования как металлургическая промышленность, причем машины и агрегаты работают в тяжелых динамических условиях, при высоких или низких температурах, в сложной или абразивной среде.

В качестве исходного сырья металлургическая промышленность получает руды, процентное содержание железа в которых из года в год уменьшается. В связи с этим возникает необходимость его обогащения, предварительного дробления в различного рода дробильнях – щековых, гирационных, шаровых мельницах и др. Далее обогащенная руда в виде концентрата поступает либо на агломерационные фабрики для ее спекания с различными компонентами, либо по новой технологии на агрегаты для прямого восстановления железа в окатышах. Все оборудование, используемое для подготовки сырья к доменной плавке или прямому восстановлению железа, работает в тяжелых динамических условиях, в подавляющем числе случаев случайного характера. Это относится и к дробильному оборудованию, и к смесительным барабанам агломерационных фабрик, обычно устанавливаемым при вертикальном потоке обрабатываемого сырья на верхних этажах здания. Динамические возмущения, появляющиеся в процессе работы смесительных барабанов, воспринимаются перекрытием, поэтому возникает проблема не только снижения динамических нагрузок звеньев механизма привода, но и здания фабрики.

Многочисленные машины и агрегаты обслуживают доменное производство. Железнодорожные вагонетки с сырой рудой и коксом, поступающие на завод, должны быть разгружены. Разгрузка полувагонов производится вагонопрокидывателями, роторными или боковыми, оборудованными различными механизмами и устройствами – механизмами фиксации вагонов, приводными механизмами, системой переменной структуры уравнивающих грузов и др.

Рудные дворы оборудованы перегружателями, производящими усреднение руд различного класса. Бункеры оборудованы бункерными затворами, вибрационными возбудителями, исключающими зависание (образование сводов кускового материала в бункерах). Подбункерное устройство оборудовано транспортерами различного типа, вибрационными питателями и грохотами для отделения мелочи. Доменные печи устаревшей конструкции обслуживаются вагон-весами.

Подача компонентов доменной плавки на колошник печей осуществляется скиповыми подъемниками, колесные пары тележек которых в районе колошника движутся по различным рельсам, имеющим искривление, обеспечивающее опрокидывание скипа. С точки зрения теории кулачковых механизмов скиповый подъемник можно трактовать как инвертированный механизм с поступательно движущимися кулачками – рельсовыми путями.

Непосредственно доменная печь оборудована на колошнике механизмами манипулирования, распределителями шихты, системами уравнивания конусов. В зоне выпуска чугуна и шлака доменную печь обслуживают периодически действующие механизмы вскрытия и забивки леток, соответственно чугунной и шлаковой. Выпущенный из печи в ковш чугун направляется к разливочной машине конвейерного типа, на которой расплав обращается в чушки, или в сталеплавильные цехи, в которых расплав заливается в мартеновскую печь или конвертер.

Переработка чугуна в сталь различных марок производится в агрегатах двух типов – мартеновских печах и конвертерах, при этом основное развитие получает конвертерное производство. Заливка чугуна в мартеновскую печь производится при помощи крана, а загрузка металлолома и пакетов – при помощи завалочных машин напольного или кранового типов. Эти машины работают в тяжелых динамических режимах. Что касается конвертеров, то в них следует отметить только один весьма ответственный механизм – это механизм опрокидывания конвертера, который должен обеспечить равномерный слив расплава в ковш, исключив раскачивание конвертера в процессе слива стали в ковш и, следовательно, выплескивание металла. Кроме указанного механизма, конвертерные цехи оборудованы системами машин, обеспечивающих дутье и транспортирование расплава в разливочный пролет или к машинам непрерывной разливки стали. Здесь следует еще упомянуть о системе машин, обеспечивающих подготовку металлолома и стружки к плавке. Металлолом, спрессованный в пакеты пакетирпрессами, позволяет значительно сократить время его загрузки в сталеплавильные агрегаты и этим увеличить их производительность.

Разливка стали производится либо в изложницы, либо в слябы в машинах непрерывной разливки. При разливке стали в изложницы возникает несколько проблем, прежде всего разделение слитков, производимое специальными стрипперными кранами, часто с ударами при застрявшем слитке в изложнице. В этом случае на кран действуют большие динамические нагрузки.



Важная проблема, не решенная до конца к тому времени, заключалась в необходимости разливки стали таким способом, который позволял бы получить при разливке стали, залитой в ковш, слитки, годные для прокатки на обжимных станах без остатка расплава. Решение этой проблемы связано с определением веса расплава в ковше и распределением его по изложницам без остатка. Решение этой задачи даст возможность получить большую экономию.

Появившиеся в начале 50-х годов машины для непрерывной разливки стали получают все большее применение, особенно в конвертерных цехах с большегрузными конвертерами. Экономическая целесообразность обжатия слитков на обжимных станах. Машины для непрерывной разливки стали оборудованы различными механизмами, обеспечивающими вытягивание слитка из кристаллизатора, его охлаждение, деление на мерные длины, транспортировку. Качество получаемого непрерывного слитка не всегда отвечает необходимым требованиям. Такое случается, например, в машинах, в которых слиток деформируется при переходе с вертикального участка на горизонтальный, вследствие чего при разливке некоторых сортов стали появляются трещины. До конца причина появляющегося эффекта не выяснена. Можно предполагать, что она заложена в статической неопределимости деформирующих слиток клетей и происходящих термических процессах.

При разливке стали в слитки их предварительная деформация производится на обжимных станах, блюмингах и слябингах. Эти мощные агрегаты обслуживаются целым комплексом машин и агрегатов. Нагрев слитков производится в колодцах, загрузка которых слитками и их извлечение производится специальными кранами. Транспортировка слитков к обжимным станам осуществляется рядом машин: слитковозами с челночным режимом движения, опрокидывателями, поворотными столами, рольгангами. Более производительная транспортная система – кольцевая, обслуживаемая несколькими слитковозами. Некоторые механизмы обжимных станов – рольганги, манипуляторы, кантователи работают в тяжелых условиях, воспринимая ударные нагрузки раската большой массы. На выходной стороне обжимных станов устанавливаются мощные ножницы, разрезающие квадратный (блюмс) или плоский (сляб) раскат на мерные длины. При использовании непрерывной разливки стали весь перечисленный комплекс машин и оборудования заменяется машинами одного типа. Для уменьшения сечения раската блюмс раскатывается на так называемых заготовочных станах с подогревом в методических печах, в которых часто возбуждаются опасные для печи колебания в процессе проталкивания плота блюмсов. Дальнейший передел стали и соответствующий комплекс машин, его реализующих, зависит от вида окончательной продукции.

На металлургических заводах производятся рельсы, швеллеры и двутавровые балки различного сечения, уголки, прутки, арматурная

сталь, периодический прокат (железнодорожные оси), рельсовые крепления, лист горячего и холодного проката, жесть, гнутый профиль, изготавливаемый из листа, штрипс, проволока, трубы без шва и сварные с продольным и спиральным швом, холоднокатаные на станах периодического действия и холоднотянутые различного назначения и размеров, вплоть до капилляров, литые трубы, в том числе на центробежных машинах. На метизных заводах металлургической промышленности производятся болты и гайки, винты и шурупы, гвозди, холоднотянутая проволока и калибровочный прутки и др. Машины для горячей и холодной высадки работают в тяжелых динамических условиях.

Перечисленный недостаточно полный сортамент металлургических заводов может дать некоторое представление о разнообразии машин, используемых для выполнения основных и всякого рода вспомогательных операций. Надо иметь в виду, что в металлургической промышленности все более широко используются непрерывные или полунепрерывные технологические процессы как наиболее производительные. Нормальное функционирование непрерывных линий может быть осуществлено только при условии высокой надежности основных и вспомогательных механизмов, обеспечивающих работу линии.

Проблемы автоматизации и динамики металлургического оборудования, – подчеркивал С.Н. Кожевников, – имеют огромное значение для народного хозяйства и вместе с тем ставят перед наукой интереснейшие задачи. К механизмам современных металлургических машин, работающих в сложных автоматизированных технологических линиях, предъявляются требования высокой надежности, так как простой машины означает простой линии и значительные убытки. В то же время размеры, а часто и уникальность этих машин исключают постройку опытных образцов. Поэтому требования к расчету, на основании которого строится машина, становятся очень высокими, и только полная ясность в представлениях о динамических процессах, сопровождающих работу большинства металлургических машин, позволяет принимать обоснованные решения по конструкциям и размерам.

Сергей Николаевич многократно и настойчиво указывал на то, что не всякая машина может быть переведена на автоматическое управление, что перевод на автоматическое управление машин, разработанных для ручного управления, не всегда оправдан, так как не даст никакого экономического эффекта. Это наблюдается в тех случаях, когда исполнительные механизмы не удовлетворяют требованиям точности и однозначности перемещений. Он обращал внимание конструкторов на то, что при разработке автоматического способа производства всегда следует иметь в виду, что технологический процесс обладает вариантностью и что необходимо выбрать наиболее благоприятный для автоматического исполнения вариант.

Анализируя тенденции развития технологического оборудования, С.Н. Кожевников подчеркивал, что оно должно пойти по пути увели-

чения скорости исполнения технологических процессов, увеличения силовых воздействий на обрабатываемый материал, увеличения объема одновременно обрабатываемого материала. В связи с этим очень возрастает роль отдельных разделов теории механизмов и машин, динамики машин с учетом реальных физических свойств звеньев, роль геометрико-динамического синтеза механизмов, роль проблемы синтеза систем машин.

Сергей Николаевич акцентировал внимание на том, что правильная постановка решения проблем механики машин в значительной мере способствует техническому прогрессу, и такое понимание роли науки о машинах в процессе создания новых машин и определило всю деятельность Кожевникова в Днепропетровске. Здесь Сергей Николаевич проработал около двадцати лет, из них шестнадцать лет в Днепропетровском металлургическом институте. За это время кафедра кардинально изменилась. Она превратилась в солидный квалифицированный научный коллектив, располагающий средствами и опытом современного эксперимента; она стала профилирующей по специальности "автоматизация металлургического оборудования", т.е. по специальности, созданной исключительно благодаря деятельности Сергея Николаевича.

В 1951 г. С.Н. Кожевников был избран членом-корреспондентом Академии наук Украины. В этом же году Кожевников организовал работу Днепропетровского научного семинара по теории машин и механизмов, переросшего со временем в филиал Всесоюзного семинара по теории механизмов и машин. Тематику работы семинара составили фундаментальные проблемы теории тяжелых металлургических и горных машин, а также вопросы теории привода (кулачковые и зубчатые механизмы).

С 1954 г. параллельно с заведованием кафедрой в ДМЕТИ он начал заведовать отделом автоматизации металлургического оборудования в Институте черной металлургии АН Украины (ИЧМ АН Украины). Отдел находился в стадии организации, и Сергею Николаевичу пришлось приложить немало усилий для его формирования и научного становления. Со временем отдел стал насчитывать более семидесяти сотрудников и состоял из пяти лабораторий – динамики металлургического оборудования, промышленной электроники, подготовки и подачи материалов в доменном производстве, газо- и пневмопривода, машин периодического действия и отдельных исследовательских групп – по резинометаллическим соединениям и по автоматизации непрерывных прокатных станов.

С 1960 г. работа в ИЧМ АН Украины стала основной для Сергея Николаевича. Здесь под его руководством была проведена модернизация станов холодной прокатки труб на базе предложенного и обоснованного уравнивающего устройства и нового привода, а также модернизация и разработка новых подающих аппаратов пильгерстанов; исследована динамика обжимных реверсивных станов; разработаны и внедрены системы автоматической стабилизации режима прокатки на

непрерывном мелкосортном стане; обосновано и практически осуществлено применение резинометаллических соединений в металлургической промышленности. Эта работа проводилась в тесном контакте с производством – крупнейшими металлургическими заводами: "Криворожсталь", "Запорожсталь", Никопольским южнотрубным, Енакиевским металлургическим, Череповецким металлургическим, Челябинским трубопрокатным.

Естественно, что в исследованиях С.Н. Кожевникова в днепропетровский период его деятельности параллельно с вопросами динамики тяжелых машин все большее место стали занимать вопросы автоматизации производственных процессов в металлургии и вопросы теории автоматически действующих устройств металлургических машин.

Переход от исследований по динамике собственно машин к работам по динамике автоматических устройств произошел, с одной стороны, в результате естественного расширения круга научных интересов как переход к более сложным задачам прикладной динамики, а с другой стороны, был продиктован жизнью – реальными производственными вопросами металлургической промышленности.

Важно отметить, что С.Н. Кожевников никогда не рассматривал вопросы и задачи автоматизации в каком бы то ни было отрыве от технологических процессов и обслуживающего их оборудования. Наоборот, он убедительно разъяснял, что без широкого изучения металлургической технологии и металлургических машин и механизмов, без создания их теории, анализа и синтеза невозможно в кратчайшие сроки и при минимальных затратах осуществить широко развитое автоматизированное металлургическое производство. В работе "Пути автоматизации металлургического оборудования" (1958) он обращал внимание на то, что при проектировании сложных механизмов металлургических машин, как правило, не возникает особых затруднений. Накопленный в течение десятков лет опыт помогает выбирать параметры прокатных станов, их редукторов, подъемных установок доменных печей и др. Здесь речь может идти только об уточнении расчетов, накоплении экспериментальных данных, использование которых может оказать помощь при выборе предохранительных устройств, обеспечении веса машин и т.п.

Совершенно иначе обстоит дело при разработке механизмов, выполняющих различного вида вспомогательные операции, например, механизмов и аппаратуры для измерения прокатываемых изделий, особенно профилей, и механизмов для выполнения операций отсортировки, упаковки и ряда других. Поэтому, когда речь идет о комплексной автоматизации прокатного оборудования, естественно обратить внимание прежде всего на механизацию операций в этих отделах прокатных станов.

В соответствии с промышленной направленностью исследований С.Н. Кожевникова и его учеников в области автоматизации, они имеют по большей части комплексное научное содержание. В них сочетаются задачи динамики машин с упругими звеньями с задачами по динамике

электрических, гидравлических и пневматических устройств. Характерными для этого цикла работами являются, например, работы по автоматическому регулированию величины петли на непрерывных прокатных станах, исследованию термодинамических процессов в пневматических механизмах, работы электропневматических распределителей с помощью электронной моделирующей установки, динамических процессов в гидравлических механизмах с применением электронных моделей, по обзору механизмов кантовки реверсивных обжимных прокатных станом и синтезу нового механизма кантовки для автоматизированного блямминга, по динамике электромеханических систем с упругими звеньями, новым направлениям в создании быстроходных подающих аппаратов пилигримовых станом и другие работы.

Статьи рассматриваемого цикла содержат результаты обширных экспериментальных исследований автоматических механизмов и устройств в натуральных условиях, исследований на физических и электронных моделях, а также разработку вопросов теории гидро- и пневмоавтоматики в наиболее трудных разделах этой теории – расчетах, относящихся к неустановившимся режимам.

Необходимость в создании и экспериментальной проверке методов таких расчетов становилась все острее по мере увеличения производственных скоростей и сокращения промежутков времени, отводимых на срабатывание автоматических устройств. Между тем научно обоснованных методов решения для подавляющего большинства практических задач не существовало, и конструкторы были вынуждены довольствоваться примитивными соображениями, несоответствие которых действительности пагубно сказывалось на эксплуатационных характеристиках систем управления, а самое главное, в конечном счете, на производительности оборудования, на стоимости продукции.

Работы С.Н. Кожевникова, в которых переходные процессы в гидравлических и пневматических системах рассматривались во всей их действительной полноте, на основе уравнений гидродинамики и газодинамики, в значительной мере восполняли существовавшие пробелы, которые препятствовали реализации многих скрытых возможностей повышения производительности металлургических агрегатов и снижения стоимости продукции.

В 1950 г. вышел своеобразный капитальный труд "Элементы механизмов" (в последующих изданиях – "Механизмы"), созданный С.Н. Кожевниковым совместно с Я.И. Есипенко и Я.М. Раскиным. Для составления "Элементов механизмов" потребовалась огромная работа по отбору материала, его систематизации и обработке. Книга представляла энциклопедию механизмов, она содержала описание, схемы и данные по проектированию и применению более, чем 3 тыс. механизмов.

Есть в Подмоскowie замечательный уголок – Клязьминское водохранилище, – вспоминал о времени подготовки книги к сдаче в издательство сын Сергея Николаевича Юрий Сергеевич Кожевников. Недалеко от него, на берегу реки Клязьма, расположен дачный по-

село Мураши. От него до станции Тарасовка Ярославской железной дороги – 3 км.

Летом, на даче в Мурашах, собирались авторы будущей книги. Работа шла как в портняжной мастерской: кроили схемы, обсуждали, спорили. В конце 40-х годов не было не только ксероксов, но даже хорошей фототехники. Мне было доверено делать копии схем выбранных механизмов. Была предложена следующая технология: обычный старенький любительский увеличитель, пачки контрольных фотопластинок 9×12. Алмазным резцом, при красном фонаре, резали их на кусочки, вставляли в увеличитель контрольный негатив, наводили на резкость, вынимали его, вставляли вместо негатива кусочек пластинки, клали схему на стол увеличителя, освещали и затем проявляли пластинки. И только потом печатали негатив на фотобумагу, нумеровали. При этом нужно учесть, что в первом издании, вышедшем в издательстве оборонной промышленности в 1950 г., размещено 2512 схем механизмов, во втором, вышедшем в том же издательстве в 1956 г., – 3169.

После напряженной и плодотворной работы вечером все шли на берег Клязьмы, отдыхали, купались, наблюдали, как мальчишки ловили пескарей в бутылку. И неизменным спутником в таких походах была Джильда – любимица Сергея Николаевича, немецкая овчарка.

Книга "Элементы механизмов", ее замысел и ее успех – одно из ярких свидетельств того острого чувства нового, того умения понимать актуальные запросы инженерной мысли и плодотворно на них отзываться, которыми отличалась вся деятельность С.Н. Кожевникова.

Книга является примером совершенного издания, разработанного в интересах инженерно-технических работников самого широкого профиля. Не меньшее значение имеет она и для научных сотрудников, специализирующихся в области теории машин и механизмов и смежных с ней технических дисциплин.

Высокая оценка книге была дана рядом зарубежных специалистов. Характеризуя ее, профессор Массачусетского университета, вице-президент ИФТОММ Ф.Р. Кроссли писал: "Книга является великолепной коллекцией для конструктора. По-видимому, потребовалось много лет для того, чтобы издать такую великолепную книгу" (7 мая 1977 г.). Иван Христов Иванов (София, 1977 г.), по специальности конструктор, сетовал на то, что книгу невозможно приобрести и отмечал, что "...в книге есть описание всех видов механизмов". Инженер Хр. Попов (Варна) в письме Сергею Николаевичу писал: "Эта книга оказалась очень полезной и ценной для решения ряда сложных задач в промышленности". Следующую оценку дал книге профессор Г. Дитрих (Ахен, 1977 г.): "Отличный справочник. Благодаря описанию многочисленных механизмов книга имеет безграничную ценность именно для конструкторов".

"Механизмы" имели четыре издания на русском языке, а также на польском, чешском, китайском и испанском языках. Последнее четвертое отечественное издание содержит 49 печатных листов, его тираж

составляет 60 тыс. экземпляров, и тем не менее сразу же после выхода из печати оно стало библиографической редкостью. Нам приходилось встречать "Механизмы" в различных конструкторских бюро институтов и промышленных предприятий, в индивидуальных библиотеках механиков цехов и заводов, причем те, кто пользовался справочником, не всегда имели представление о том, кто такой С.Н. Кожевников и каково его положение в научном мире. На наши вопросы о качестве, доступности и употребительности изложенного в справочнике материала мы всегда получали ответы, содержащие его высокую и нередко восторженную оценку. Справочник удался потому, что в нем кристаллизировались незаурядные качества авторского коллектива, и в первую очередь С.Н. Кожевникова, как ученых, в совершенстве владеющих инженерными знаниями и полагающих своим долгом содействие их развитию и совершенствованию.

В начальных разделах справочника даны достаточные сведения по терминологии в области теории машин и механизмов, структуре, кинематике и динамике механизмов. Обращается внимание на возможность наличия в механизме пассивных условий связи, обуславливающих статическую неопределимость и высокую чувствительность по этой причине к погрешностям изготовления и сборки механизма и деформациям его основания и звеньев. Реальный эффект от наличия пассивных связей в механизме проявляется в дополнительных нагрузках, возникающих в звеньях и кинематических парах.

Излагаются графические и аналитические методы исследования кинематики различных статически определимых плоских групп, а также механизмов в целом, включая механизмы с заданным относительным движением звеньев и пространственные механизмы. Даются сведения о картине относительных ускорений и методе ее ложных положений, приводятся правила составления приведенных схем и расчета приведенных параметров и сил механизмов, которые могут быть использованы для составления уравнений движения механизма и исследования его динамики. Описан альтернативный метод получения уравнений движения на базе уравнений Лагранжа второго рода и даются необходимые пояснения по их использованию. Также в сжатой, но достаточной для применения в инженерной деятельности форме представлены положения о неравномерности хода машин, их уравниванию.

Освещены методы учета трения в кинематических парах, расчета коэффициента полезного действия механизмов.

Рассмотрены возможные виды звеньев, кинематических пар и кинематических соединений конкретных механизмов. Сведения о плоских механизмах, помимо множества их разновидностей, включают данные о геометрии, коэффициенте увеличения средней скорости обратного хода, конструктивные особенности, рациональные исполнения, область использования.

Достаточно широко описаны пространственные стержневые механизмы со сложными траекториями точек выходных звеньев, разнооб-

разные винтовые механизмы, в том числе волновые винтовые передачи, механизмы петлителей швейных машин, механизмы для передачи движения между скрещающимися осями, сферические механизмы, с косою шайбой, шарнирно-винтовые, шарико-винтовые передачи, включая беззазорные, и многие другие.

Большой раздел отведен зубчатым колесам и составленным из них механизмам с неподвижными и подвижными осями вращения колес. Полно представлены сведения о геометрии профилей зубьев с соответствующими зависимостями, о видах кривых, используемых для образования зубьев: эвольвенте, циклоидах, логарифмической спирали, эллипсе и др. Изложены зависимости для расчетов статики и кинематики эпициклических механизмов, даются схемы и конструкции статически определимых планетарных редукторов, планетарных (дифференциальных) коробок скоростей, а также методы расчета передаточных отношений этих коробок скоростей, включая случаи с некруглыми колесами, и кулачково-планетарных и зубчато-рычажных механизмов.

Рассматриваются гиперболоидные и червячные передачи и их частные случаи, различные дифференциальные механизмы.

Один из крупных разделов книги посвящен кулачковым механизмам и их схемным решениям, выбору законов движения, методам расчета кинематики, определению размеров, построению профиля кулачка, переходу к заменяющему механизму. Широко представлены кулачковые механизмы машин автоматического действия.

Полно освещены фрикционные передачи и вариаторы скоростей, включая шариковые, клиноременные и многие другие виды, а также методы их расчета. В этом разделе также помещены импульсные и инерционно-импульсные вариаторы скорости, содержащие в качестве необходимого элемента муфту свободного хода.

Даны различные конструкции тормозных систем, широко применяемых в современном машиностроении. Значительный интерес вызывает вариантоскоп конструктивных исполнений муфт, служащих для соединения валов как соосных, так и с пересекающимися или скрещающимися осями.

Представлены постоянные, управляемые, упругие, предохранительные, центробежные муфты, муфты свободного хода и многие другие.

В разделе описания механизмов с прерывистым движением ведомого звена рассмотрены мальтийские, храповые, стержневые, кулачковые, зубчатые.

Имеются разделы по механизмам с регулируемым ходом, уравнительным и компенсирующим, включая механизмы устранения зазора (например, в винтовой паре).

Представлены направляющие механизмы, механизмы автоматического включения и выключения, механизмы выполнения математических операций (вычерчивания кривых, огибания кривых, планиметры, суммирующие, множительные, интегрирующие механизмы, три-



гонометрических функций), механизмы приборов, датчики и аппаратура измерения неэлектрических величин.

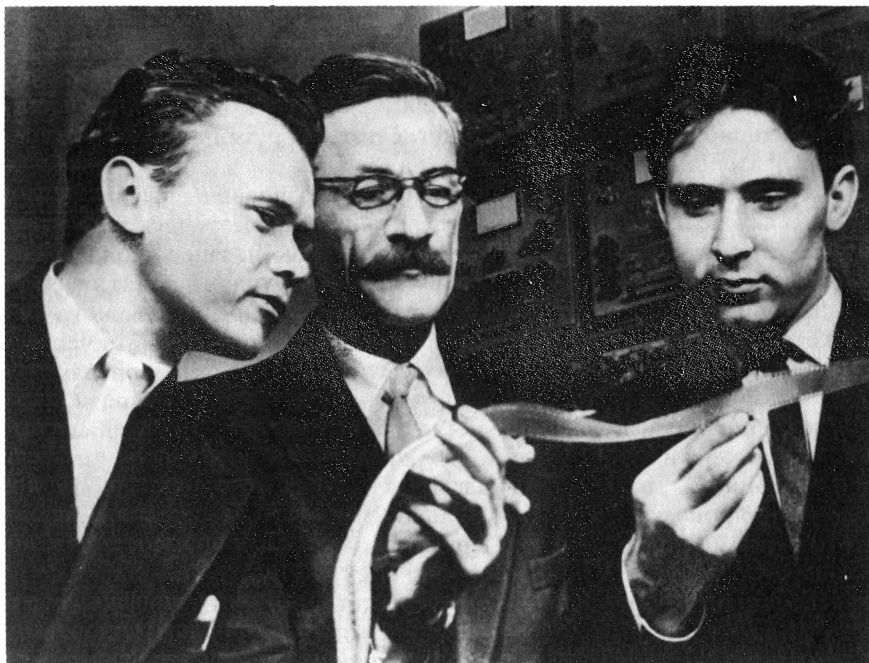
Один из разделов посвящен машинам вибрационного и ударного действия и средствам для устранения колебаний и вибраций в машинах (антивибраторы, демпферы, поглотители крутильных колебаний, амортизаторы).

В двух последних главах книги описаны резиновые и резинометаллические соединения и механизмы питания автоматических машин. В целом в справочнике последнего издания дано описание около 2 тыс. механизмов с приведением в необходимых случаях аналитических выражений для геометрического, статического, кинематического и в некоторых случаях динамического расчетов. Изложение материала в основном следует в соответствии с функциональными признаками механизмов, что облегчает поиск и использование сведений. Справочник широко используется не только для выполнения проектно-конструкторских работ, но и для преподавания теории машин и механизмов. В этом плане представляет интерес следующее высказывание профессора Йорга Мюллера (Магдебург, 1977 г.): «Ваша книга "Механизмы", дорогой Сергей Николаевич, особенно ценна потому, что содержит много практических примеров в специальных главах. Эти примеры превосходно подходят для использования в учебных мероприятиях по теории машин и механизмов».

В процессе подготовки справочника "Элементы механизмов" Сергей Николаевич много внимания уделял вопросам кинематики и синтеза механизмов. В 1947 г. он рассмотрел некоторые задачи анализа и синтеза пространственных кривошипно-коромысловых механизмов, применяемых для передачи движения между скрещающимися валами при переменном отношении угловых скоростей (такие механизмы используются, в частности, в легкой промышленности). Несколько позже С.Н. Кожевников вместе с Л.И. Цехновичем показали, что существует группа плоских механизмов, которая не может быть введена ни в одну из существующих классификаций: характерной их чертой является то, что начальное звено, закон движения которого задается, не связано с неподвижным. К таким механизмам относятся, например, механизмы шагания экскаватора, гидравлические механизмы с качающимся цилиндром и др. Авторы выяснили структуру таких механизмов и указали методы их кинематического и кинетостатического анализа. Тем самым был восполнен весьма существенный пробел в теории механизмов и машин, мешавший практической реализации возможностей, содержащихся в указанном классе механизмов.

Работу по подготовке и изданию "Механизмов" С.Н. Кожевников совмещал с педагогической и научной деятельностью в ДМЕТИ и ИЧМ АН Украины. Здесь, в Днепропетровске, в средоточии черной металлургии страны, он создал центр современного научного изучения металлургического оборудования и его совершенствования.

В настоящее время всем достаточно ясно и общепризнано, что проблемы динамики и автоматизации металлургического оборудования



**С.Н. Кожевников с учениками – А.Н. Ленским и В.И. Большаковым за просмотром осциллограммы моделирования динамики системы**

имеют огромное значение для народного хозяйства и в то же время стимулируют развитие науки о машинах. Уникальность металлургических машин обуславливает высокие требования к расчетам, на основании которых строится машина, а чтобы принимать обоснованные конструктивные решения, необходима ясность в представлениях о динамических процессах, сопровождающих работу этих машин. Однако впервые эти соображения прозвучали более сорока лет тому назад, в 1954 г., в докладе С.Н. Кожевникова на Первом всесоюзном совещании по основным проблемам теории машин и механизмов, в котором он привлек внимание машиноведов к основным проблемам теории металлургических машин и оборудования. Он указал, 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.

Кроме того, он 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. Поскольку технологические нагрузки, возникающие в процессе работы технологических машин, трудно определить теоретически, то в большинстве случаев единственным способом их определения является экспериментальный.

Сергей Николаевич также поставил вопрос о необходимости систематического изучения механизмов с упругими звеньями (они встречаются не только в металлургических, горных и текстильных, но и в других машинах), о возможности их использования в качестве исполнительных механизмов. Сергеем Николаевичем были также выдвинуты для решения задачи в области теории пневматических механизмов, а именно, исследование термодинамических процессов, протекающих в автоматически действующих пневматических механизмах; разработка методов торможения поршня в крайних положениях; исследование предохранительной, управляющей и регулирующей аппаратуры с точки зрения потерь давления, времени срабатывания и некоторых других параметров.

В марте 1958 г. в Москве собралось Второе всесоюзное совещание по основным проблемам теории механизмов и машин, чтобы подвести итоги проделанной работы. За прошедшие четыре года С.Н. Кожевниковым и его учениками и сотрудниками по Металлургическому институту и Институту черной металлургии АН Украины разрабатывались проблемы в области теории передаточных механизмов – исследовались кулачковые механизмы с самых разных сторон, производилась их оценка с точки зрения наиболее рационального воспроизведения требуемых законов движения, выяснялось определение оптимальных параметров с учетом угла передачи. Были также выполнены работы по гибким передачам, вариаторам, фрикционным передачам. Особое внимание уделялось теории гидравлических и пневматических механизмов в связи с их широким применением в машинах автоматического действия, автоматических линиях, в приспособлениях для механизации трудоемких и тяжелых процессов.

Исследования в последнем направлении были опубликованы в 1961 г. в книге "Аппаратура и механизмы гидро-, пневмо- и электроавтоматики металлургических машин". В ней детально рассматривались теоретические положения, позволяющие оценить работу аппаратуры и производить расчеты для ее проектирования. Ряд вопросов, особенно по пневмоавтоматике, излагался впервые. Книга предназначалась в качестве учебного пособия для студентов вузов по курсу "Аппаратура и устройства гидро-, пневмо- и электроавтоматики". Она содержит сведения и данные, до этого разбросанные в специальных статьях и каталогах, материалы заводов и конструкторских бюро, строящих и проектирующих аппаратуру. Книга иллюстрирована схемами систем автоматического управления и чертежами конструкций, а теоретические материалы, представленные в ней, были в значительной мере оригинальными и написаны частью на основе опубликованных ранее

научных исследований авторов, а частью, особенно по пневмоавтоматике – заново, специально для этой книги.

В этом же году увидела свет монография С.Н. Кожевникова "Динамика машин с упругими звеньями", представляющая полное и систематическое изложение сделанного в рассматриваемой области.

Исследования по динамике машин с упругими звеньями, выполненные в Днепропетровске, явились логическим развитием идей, заложенных еще в московский период их разработки. Это прежде всего большая работа "Определение действительных нагрузок в линиях передач тяжелых машин" (1953), а также ряд исследований, выполненных совместно с сотрудниками и учениками.

Данные исследования включали вопросы динамики скипового подъемника доменной печи, механизмов с зазорами в кинематических парах, электромеханических систем с упругими звеньями, моделирования главной линии прокатного стана с зазорами в соединительных муфтах, применения электронных моделирующих установок при исследовании прокатных станов, составления и решения уравнений динамики механизмов, описываемых разветвленными и замкнутыми цепями дискретных масс с упругими связями, и др. Тематика исследований свидетельствовала, во-первых, что разработке стали подвергаться все более сложные системы и более сложные явления и, во-вторых, что реальными объектами исследований стали главным образом машины металлургических заводов.

В книге "Динамика машин с упругими звеньями" С.Н. Кожевников последовательно рассмотрел общие проблемы динамики тяжелых машин, технологические нагрузки, поведение электропривода. Затем излагаются приемы составления и решения дифференциальных уравнений для описания динамических процессов, динамика механизмов с упругими звеньями в разветвленных и замкнутых механических цепях, динамические напряжения в системах с зазором (с разрывающейся упругой связью и распадающейся массой), и, наконец, применение математических машин непрерывного действия для динамического исследования силовых линий тяжелых машин.

Кроме этих работ по динамике, которые имели общий характер, в данное время был опубликован ряд исследований практического направления, выполненных по договорам с металлургическими заводами и преследовавших конкретные производственные цели. К ним относятся, например, работы по динамике кантовки слитка при использовании крюкового и уголкового кантователей; скипового механизма; подъемной установки с дифференциальным редуктором; приводной линии вертикальных валков слябинга; по динамическим нагрузкам в механизме холодновысадочных машин и др.

К перечисленным книгам следует добавить конспект лекций по теории колебаний, написанный Сергеем Николаевичем совместно с Я.М. Раскиным и изданный на ротапринте в Днепропетровском металлургическом институте.

В июне 1961 г. состоялось Третье всесоюзное совещание по

основным проблемам теории механизмов и машин. Большинство докладов секции динамики машин относилось к проблемам динамики машин с упругими звеньями. С.Н. Кожевников в докладе "Уравнения динамики механизмов, описываемых разветвленными цепями дискретных масс с упругими связями" на примере прокатных станов проанализировал уравнения динамики переходных и неустановившихся процессов в тех случаях, когда механизмы нельзя представить в виде линейных цепей дискретных масс с упругими связями.

На Четвертом совещании по основным проблемам теории машин и механизмов (Киев, 1964) секция динамики машин включала доклады по исследованию машин в реальных условиях их работы и была во многом представлена школой С.Н. Кожевникова. 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, причем большинство докладов по тематике исследований было связано с проблемами теории колебаний.

В мае 1967 г. в Сухуми состоялось Пятое совещание по основным проблемам теории машин и механизмов. Представленные работы были объединены в соответствии с их тематикой и выносились на совещание в виде обзорных докладов. Работали традиционные секции, наиболее насыщенной среди них была секция динамики машин, которой руководили И.И. Артоболевский и С.Н. Кожевников.

Шестое совещание по основным проблемам теории машин и механизмов состоялось в 1970 г. в Ленинграде. Сергей Николаевич в обобщенном докладе проанализировал состояние исследований в области общей динамики машин. Он обратил внимание на основные тенденции развития проблем анализа и динамического синтеза машинных агрегатов с учетом реальных физических свойств их отдельных 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. Сергей Николаевич рассмотрел также задачи стохастической динамики машин.

Седьмое совещание по основным проблемам теории машин и механизмов было созвано в 1974 г. в Тбилиси. С.Н. Кожевников в докладе "Задачи и методы исследования динамических режимов тяжелых машин" отмечал необходимость 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. Сергей Николаевич поднял также вопросы унификации методов экспериментального исследования машин, их надеж-

ности и долговечности, синтеза и динамического расчета статически неопределимых систем и др.

Следует также отметить, что во всех совещаниях по основным проблемам теории машин и механизмов Сергей Николаевич принимал самое активное организационное участие – вместе с И.И. Артоболевским он был неизменным руководителем секции динамики машин.

## **Развитие идей по динамике машин**

Сфера научных интересов и активной творческой деятельности С.Н. Кожевникова была весьма обширная; она охватывала различные направления механики машин, и все же наибольшую личную заинтересованность вызывали вопросы динамики. Именно в этой области Сергей Николаевич достиг наиболее выдающихся фундаментальных результатов, и символично, что последняя его монография "Динамика нестационарных процессов в машинах" (1986) явилась завершением многолетнего цикла исследований по динамической нагруженности машинных агрегатов при переходных и нестационарных процессах.

Основные результаты исследований только по динамике машин и механизмов опубликованы также в монографиях "Динамика машин с упругими звеньями", "Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин", "Карданные передачи", в многочисленных статьях; авторские свидетельства СССР и патенты Англии, Италии, Швеции, ФРГ, Франции, США удостоверяют новизну технических решений руководимых С.Н. Кожевниковым творческих коллективов, занимавшихся вопросами уравнивания сил инерции механизмов прокатных станов и других тяжелых машин, созданием новых прогрессивных систем уравнивания. Проблемы динамики машин С.Н. Кожевников освещал на международных конференциях и конгрессах, всесоюзных совещаниях по основным проблемам ТММ и последующих всесоюзных съездах этого же профиля, на всесоюзных съездах по теоретической и прикладной механике и Международном симпозиуме по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности (г. Донецк, 1974 г.).

Еще студентом он приступил к исследовательской работе в области динамики машин и не прекращал ее до конца жизни. Зная многое о механизмах и машинах как практик, тонко чувствуя физические основы их функционирования, Кожевников целенаправленно овладел соответствующими теоретическими курсами, имевшими отношение к избранной специальности, а также многими разделами математики; этот глубокий симбиоз практических и теоретических знаний позволил ему поднять уровень исследований по динамике машин на новую высоту, обусловленную требованиями научно-технического прогресса.

Значительно позже, в одной из кратких своих автобиографий Сергей Николаевич писал: "На мой выбор области науки и мое формирование как научного работника оказал очень большое влияние профессор Малышев Александр Петрович, у которого я слушал лекции по прикладной механике, выполнял работы, будучи "выдвиженцем", и который был моим строгим судьей... Не меньшее влияние на меня оказал профессор Проктор Георгий Эдмундович (упругист), с которым я работал в течение нескольких лет.

Любовь к прикладной механике и теории упругости послужила причиной тому, что основные мои работы по динамике машин в наименее развитой ее части были посвящены изучению законов движения звеньев механизма с учетом упругости (упругости звеньев). Такого рода задачи становятся особо актуальными при увеличении скоростей машин, когда динамические эффекты велики\*\*.

Реальные потребности машиностроения диктовали ученым направления поисков их исследований. Необходимо было обеспечить высокую работоспособность и прочность машин в условиях возросших скоростей, производительности и удельных нагрузок. Для этого, прежде всего, требовалась достоверная информация о характере и спектре динамической нагруженности, экстремальных значениях усилий, т.е. с особой остротой выдвигался вопрос о всестороннем исследовании переходных и неустановившихся процессов в машинах. При этом первостепенную роль приобретали теоретические исследования, на основе которых могли бы быть корректно спроектированы те или иные механизмы и машины, так как готовые тяжелые станки и уникальное оборудование практически не допускали сколько-нибудь существенного усовершенствования, да и стоимость последнего была бы крайне высокой.

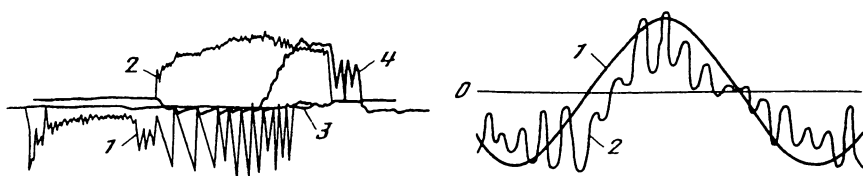
Собственный опыт работы с машинами в сочетании с научным влиянием Г.Э. Проктора и А.П. Малышева сформировали у Кожевникова новую концепцию взгляда на машину как динамическую систему с упруго-инерционными свойствами элементов, в которой, с одной стороны, могут развиваться интенсивные колебательные процессы, а с другой – демпфироваться различные соударения; таким образом, фактическая нагруженность, как правило, будет значительно отличаться от нагруженности идеализированной машины, у которой все звенья традиционно предполагаются абсолютно твердыми.

Необходимость перехода на новые методы динамического расчета, связанного с отказом от взгляда на машину как систему недеформируемых тел, предписываемого рамками классической механики, и тем более признание недостаточным использование расчетов только по статистическим нагрузкам, подтверждались авариями шахтных подъемников и других машин, нередко сопровождавшихся значительными человеческими жертвами и большими материальными потерями.

---

\* Материалы о С.Н. Кожевникове. Архив отдела динамики сложных систем Института механики НАН Украины. Ф. 1. Оп. 1. Д. 1. Л. 217.





**Рис. 1. Осциллограмма динамических нагрузок многовалкового универсального стана**

**Рис. 2. Осциллограмма перемещений клетки стана ХПТ и усилий в шатуне ее привода**

Существенное влияние упругости звеньев на качественные и количественные показатели протекающих динамических процессов в машинах впоследствии было доказано многочисленными данными экспериментов, один из результатов которых показан на рис. 1.

Представленные осциллограммы характеризуют динамическую нагруженность звеньев механизмов многовалкового универсального стана горячей прокатки, в рабочей клетке которого расположены три пары валков – одна горизонтальная и две вертикальные. Кривые соответствуют моментам, действующим в шпинделях привода передней пары вертикальных валков 1, нижнего 2 и верхнего 3 горизонтальных валков, задней пары вертикальных валков 4. Ввиду того, что при работе возникает рассогласование скоростей движения прокатываемого металла и валков, происходит рост усилий и накопление потенциальной энергии в упругих элементах. В дальнейшем наступает проскальзывание прокатываемой заготовки относительно какого-либо валка, вызывающее снижение величины коэффициента трения скольжения и, как следствие, резкий сброс нагрузки. В результате проскальзывания прекращается и процесс повторяется. Так возбуждаются автоколебания, проявляющиеся визуально в пилообразном характере изменения нагрузок (кривые 1 и 4). Для работы прокатного стана этот режим крайне нежелателен, так как вызывает значительные перегрузки, шум и вибрацию. Работа верхнего горизонтального валка проходит наиболее спокойно (кривая 3) из-за более высокой жесткости его шпинделя.

Другим наглядным примером влияния упругости на динамическую нагруженность являются экспериментально полученные осциллограммы (рис. 2) возвратно-поступательного перемещения клетки 1 стана холодной прокатки труб (ХПТ-55) и усилий в шатуне ее привода 2. На холостом ходу стана кривая перемещений достаточно близка к синусоиде, и потому сходную с ней форму должна была бы иметь кривая усилий в шатуне, определяемых на холостом ходу в основном только силами инерции клетки. Однако упругость шатунa значительно изменяет описываемый вид кривой усилий в результате наложения высокочастотных колебаний, которые практически не заметны на кривой перемещений.

Убедившись в необходимости признания упругих свойств звеньев машин, Кожевников разработал метод теоретического исследования динамической нагруженности, основанный на достижениях математики в области решения линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Для этого использовалась линейная зависимость нагрузки от деформации, что с точностью до малых величин соответствовало свойствам основных машиностроительных материалов в зоне упругости. При отсутствии сколько-нибудь эффективной вычислительной техники в то время аналитический метод решения упомянутых уравнений был практически единственно пригодным для использования, однако имел высокую трудоемкость, в связи с чем предпринимались многочисленные попытки поиска более рациональных форм представления уравнений движения. Эта задача была успешно решена С.Н. Кожевниковым.

Еще в начале XX в. в работах некоторых исследователей\* и в работах 30-х годов С.Н. Кожевникова были сделаны первые попытки определения динамических напряжений через разность абсолютных перемещений концевых масс упругого звена. Однако этот метод имел недостатки, связанные с трудностями вычислительного характера, значительно снижающими возможность его практического использования. Особенность метода заключалась в том, что малая величина деформации должна была определяться из разности текущих значений обобщенных координат, получившихся в результате решения. Данные координаты не являлись малыми величинами, вследствие чего точность метода объективно была сравнительно невелика. Поэтому стало жизненно необходимым повысить точность аналитического решения уравнений и, по возможности, сократить весьма трудоемкие вычислительные процедуры.

Принимая во внимание тот факт, что характеристические уравнения машины, представленные в форме абсолютных перемещений динамической упруго-инерционной системы, имеют пару нулевых корней, соответствующих циклическим координатам, Кожевников преобразовал исходные уравнения к виду, в котором в качестве переменных системы линейных дифференциальных уравнений вместо координат инерционных звеньев непосредственно входили деформации безынерционных упругих звеньев, т.е. разности отмеченных координат.

Далее, ввиду того, что сила (момент сил) упругости при линейной постановке принимается пропорциональной деформации, т.е. равной произведению деформации на соответствующую жесткость, осуществлялся переход к дифференциальным уравнениям, в которых в качестве обобщенных координат формально фигурировали силы (моменты сил) упругости, а также их производные. Порядок системы дифференциальных уравнений, записанных в форме деформаций или

---

\* См.: *Pileiderer C. Dynamische Vorgänge beim Anlauf von Maschinen mit besonderer Berücksichtigung von Nebe maschinen.* Munchen, 1906; *Локшин А.М.* О динамических напряжениях в подъемных канатах // Изв. вузов. Горный журнал. 1929. № 7. С. 414–418.

сил (моментов сил) упругости снижался на две единицы, характеристическое уравнение системы не содержало нулевых корней и давало те же самые мнимые корни, определяющие собственные частоты, что и исходная система уравнений. Кроме того, что особенно важно, решением системы уравнений непосредственно были силы (моменты сил) упругости, что значительно сокращало объем вычислительных операций и повышало точность результатов. Моменты сил упругости не имели тенденции к неограниченному возрастанию, в отличие от используемых ранее углов поворота или линейных перемещений, что дополнительно снижало погрешности динамического анализа машин.

Естественно, что в процессе разработки и усовершенствования данного метода потребовалась проверка адекватности результатов теоретических расчетов для многомерных динамических систем машин реальным процессам, протекающим в машинах. С этой целью С.Н. Кожевников проводит цикл теоретико-экспериментальных исследований продольно-строгального станка в лаборатории Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС, Москва) и на станкостроительном заводе им. Я. Свердлова в Ленинграде. Была составлена расчетная схема динамической системы станка, определены приведенные упругие, инерционные и другие параметры, а также закон изменения момента трения переключаемой электромагнитной муфты. Теоретически и экспериментально были исследованы различные режимы движения, в том числе разгон и реверс с учетом передаваемого момента трения муфты в соответствии с законом изменения магнитного потока. Этими экспериментами, корректно выполненными с всесторонним учетом свойств станков, была подтверждена правомерность использования разработанного метода для теоретического исследования динамических процессов.

Но Кожевников не только создал новый метод и осуществил экспериментальную проверку соответствия реальным процессам получаемых на его основе результатов. Он стал настойчиво внедрять метод в жизнь, пока эффективность его использования не оказалась очевидной для всех, кто занимался исследованиями в области динамики машин. И в настоящее время представление математической модели динамической системы скоростной нагруженной машины в форме сочетания упругих безынерционных и недеформируемых инерционных элементов перешло в разряд классических и широко употребительных. За цикл отмеченных экспериментальных и теоретических исследований по представлению ЭНИМСа Кожевникову в 1937 г. без защиты диссертации была присуждена ученая степень кандидата технических наук. В дальнейшем, в докторской диссертации, указанный метод был развит применительно к разнообразным системам и на основе символического метода даны решения нестационарных колебаний при различных возмущениях. Материалы докторской диссертации получили дальнейшее развитие и впоследствии в завершенной форме были опубликованы С.Н. Кожевниковым в монографии "Динамика машин с упругими звеньями".

Преимущество представления математической модели в форме сил (моментов сил) упругости оказалось весьма плодотворным применительно к возможностям распространившихся после 1945 г. аналоговых ЭВМ (электронных моделирующих установок). Выходные переменные в них были ограничены некоторой предельной величиной (выходного напряжения), поэтому уравнения, составленные в обобщенных координатах (перемещений линейных или угловых), не позволяли осуществлять сколько-нибудь длительных решений системы из-за монотонного нарастания координат и достижения ими порога ограничения, тогда как дифференциальные уравнения в форме сил (моментов сил) упругости из-за колебательного характера последних таким недостатком не обладали и позволяли проводить исследования на любом физическом интервале времени работы машины. Таким образом, возникла основа для полного использования вычислительного потенциала аналоговых ЭВМ применительно к задачам динамики машин.

Именно с широким внедрением моделирования на аналоговых ЭВМ связаны первые большие успехи в деле динамических исследований работы тяжелых металлургических и горных машин, включая исследования в Институте черной металлургии АН Украины и в Днепропетровском металлургическом институте.

Начиная с 1944 г., в период интенсивного восстановления, а впоследствии и модернизации предприятий тяжелой промышленности, разрушенных в годы второй мировой войны, промышленность выдвинула перед научной общественностью требование участия в решении многих неотложных проблем. В их числе находилась проблема, которая призвана была дать ответ о том, какие динамические нагрузки испытывают тяжелые, в том числе уникальные, машины металлургической промышленности, имеют ли они резерв прочности для повышения производительности и каковы возможности их модернизации.

К этому времени С.Н. Кожевников сформировался как крупный ученый с большим научным заделом и обширными планами дальнейшей работы. Он принял предложение о переводе его из Москвы, где он заведовал кафедрой теории машин и механизмов в Московском авиационно-технологическом институте, в г. Днепропетровск. Именно здесь с максимальным успехом были использованы разработки ученого в области динамики машин с упругими звеньями. Очень скоро вокруг Сергея Николаевича сформировалось дружное ядро его учеников, единомышленников и последователей, выполнивших огромный объем теоретических и экспериментальных работ. Возникла школа ученых-исследователей, и с этого времени многие работы Кожевников публикует в соавторстве, сохраняя за собой идейную сторону формулировки проблемы и представления результата.

В силу индивидуальных особенностей С.Н. Кожевников соединил в себе не только ученого-теоретика и экспериментатора, но и инженера-изобретателя, внедрившего множество технических решений в действующее оборудование металлургических заводов.

Кроме обеспечения практических потребностей по расчетам, связанным с надежностью и долговечностью машин, разрабатываемые методы представляли интерес в связи с определившейся тенденцией автоматизации технологических процессов, предъявившей к машинам повышенные требования. В монографии Сергей Николаевич писал: "Не всякая машина может быть переведена на автоматическое управление. Практика показывает, что перевод на автоматическое управление машин, разработанных для ручного управления, не всегда оправдывается, так как не дает никакого экономического эффекта. Это наблюдается в тех случаях, когда исполнительные механизмы не удовлетворяют требованиям точности и однозначности перемещений"\*.

По сравнению с начальным циклом исследований, изложенных в работе "Динамическое исследование продольно-строгального станка", в докторской диссертации, а затем монографии "Динамика машин с упругими звеньями" завершена теория аналитического исследования нагруженности машин, динамические системы которых описываются обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Такие системы представляются совокупностью приведенных недеформируемых инерционных и упругих безынерционных элементов. Приведенные инерционные и упругие параметры при этом принимаются постоянными, т.е. рассматриваются беззазорные механизмы с постоянными передаточными отношениями между любыми элементами подсистемы. Осуществлен учет распределенной массы упругих элементов (валов, шатунов) посредством повышения величины дискретных масс, расположенных на концах этих элементов. Соответствующие добавки масс находились из условия сохранения кинетической энергии исходной и расчетной систем и положения узлов колебаний основного тона. Предусмотрены различные варианты зависимостей внешних нагрузок. Показано, что в случае введения характеристики электродвигателя, зависящей от угловой скорости вращения ротора, порядок системы дифференциальных уравнений в форме моментов сил упругости возрастает на единицу; при нагрузке, зависящей от перемещения, такое увеличение порядка равно 2.

Например, для системы с двумя массами с моментами инерции  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , соединенными упругим безынерционным валом жесткостью  $c_{12}$ , моментом двигателя  $M_1(\dot{\varphi}_1)$ , линейно зависящим от скорости  $\dot{\varphi}_1$  вращения ротора ( $M_1(\dot{\varphi}_1) = a - b\dot{\varphi}_1$ ;  $a, b = \text{const}$ ), уравнения движения в обобщенных координатах  $\varphi_1, \varphi_2$  имеют вид

$$\begin{aligned}\theta_1\ddot{\varphi}_1 &= -c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + M_1(\dot{\varphi}_1) \\ \theta_2\ddot{\varphi}_2 &= c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - M_2,\end{aligned}\tag{1}$$

где  $M_2$  – момент внешней нагрузки.

\* *Кожевников С.Н.* Динамика машин с упругими звеньями. Киев: Изд-во АН УССР. 1961. С. 3.

После представления системы (1) в форме моментов сил упругости  $M_{12} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)$  и исключения  $\varphi_1, \varphi_2$  будем иметь одно уравнение

$$\ddot{M}_{12} + \frac{b}{\theta_1} \dot{M}_{12} + \beta_{12}^2 M_{12} + \frac{b\beta_{12}^2}{\theta_1 + \theta_2} M_{12} = -\frac{c_{12}}{\theta_2} \dot{M}_2 - \frac{b\beta_{12}^2}{\theta_1 + \theta_2} M_2,$$

$$\beta_{12}^2 = c_{12} \left( \frac{1}{\theta_1} + \frac{1}{\theta_2} \right). \quad (2)$$

В диссертации и монографии "Динамика машин с упругими звеньями" записаны рекуррентные соотношения для характеристических уравнений, определяющие переход от простой системы к более сложной. На основе корней характеристического уравнения дается общее решение многомерной системы неоднородных дифференциальных уравнений, описывающих нестационарные процессы в машинах. При этом учитываются соответствующие начальные условия, задаваемые в форме значений моментов сил упругости всех деформируемых участков динамической системы и их производных в момент времени, равный нулю. Показано, как изложенный метод может быть применен не только для рядных, но и для разветвленных, а также замкнутых систем при линейной зависимости силы (момента сил) упругости от деформации упругого элемента.

Как уже отмечалось, представление дифференциальных уравнений движения в форме моментов сил упругости позволило использовать большие по тем временам возможности аналоговых ЭВМ для моделирования динамических процессов в машинных агрегатах. Это дало такой огромный импульс для развития исследований по динамике тяжелых металлургических машин, что в Днепропетровске возникла и стала быстро расти под руководством С.Н. Кожевникова научная школа, давшая большую плеяду высококвалифицированных специалистов. На основе многих исследований были модернизированы различные виды тяжелого оборудования, что повысило его качество и надежность. Аналоговые ЭВМ существенно расширили сферу решаемых задач, обеспечивая исследования также и нелинейных динамических систем.

Для иллюстрации возможностей аналоговых ЭВМ на рис. 3 показаны полученные с ее помощью осциллограммы динамических нагрузок в передней 1 и задней 2 ветвях канатного привода слитковоза, скорости 3 его движения в процессе разгона, а также момента 4, развиваемого двигателем для вариантов системы без начального провисания переднего каната (рис. 3,а) и с его провисанием (рис. 3,б). Последний рисунок является примером использования аналоговой ЭВМ для анализа существенно нелинейных систем.

В монографии "Динамика нестационарных процессов в машинах", которой было суждено подвести итог основных исследований в области динамики, С.Н. Кожевников большое внимание уделил вопросам составления и упрощения расчетных схем, на основе которых разраба-

тываются уравнения движения динамических систем. Для дискретно-континуальных систем, когда распределенные массы валов и других упругих элементов существенно ниже сосредоточенных масс, что справедливо для большинства машин, Кожевников использовал метод Г.Г. Баранова\* в комбинации с методом Рэля\*\*, позволяющим часть распределенной массы присоединить к сосредоточенным. Существенным дополнением к указанному упрощению оказалось размещение неучтенной части распределенной массы в соответствующем узле колебания. Этим сохранялись баланс масс исходной и расчетной системы и



Рис. 3. Осциллограммы моделирования динамики шлицовоза

кинетическая энергия, т.е. были учтены те факты, что при переходе к более низкой форме колебаний происходит смещение узлов, а также, что в физической системе машины валы и их поперечные сечения, содержащие эти узлы, движутся с некоторой основной скоростью, на которую накладывается скорость колебательного движения.

Развитие метода Баранова позволило создать способ упрощения разветвленной системы, в том числе при наличии кратных корней характеристического уравнения, и осуществить сведение базовой трехмассовой разветвленной цепи к двухмассовой. При всех отмеченных упрощениях обеспечивается также обратный переход, т.е. восстановление динамической нагруженности в упругих звеньях исходной системы машины, а также текущей кинематики звеньев по результатам решения редуцированной системы.

С.Н. Кожевников всегда придавал большое значение адекватности физического объекта и используемой математической модели, что постоянно заставляло его расширять сферу исследований. Концентрируясь на разработке аналитических методов анализа линейных динамических систем машинных агрегатов, он уже на начальной стадии научной деятельности уделял существенное внимание исследованиям систем с нелинейностями. Важность таких исследований очевидна в случаях, когда нельзя пренебречь отклонением свойств материалов от закона Гука, наличием в системе зазоров, нелинейных амортизаторов, сил сухого трения, а также нелинейностей кинематических передаточных функций, как, например, в стержневых и кулачковых механизмах, карданных, цепных и других передачах. Некоторые из циклов его исследований по нелинейным системам были успешно завершены.

\* Баранов Г.Г. Крутильные колебания // Вестник металлопромышленности. 1931. № 10. С. 60–76; № 11. С. 2–15.

\*\* Стрэтт Дж.В. Лорд Рэлей. Теория звука. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1940. Т. 1.

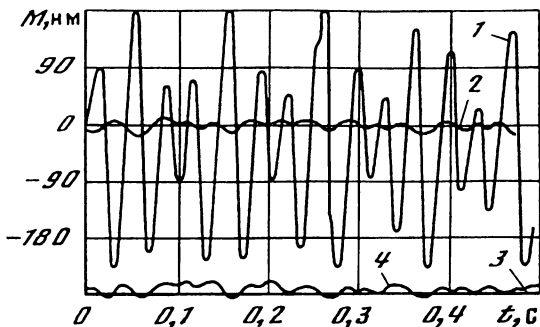
В монографии "Карданные передачи" были рассмотрены проблемы динамики механизмов с шарнирами Гука, вносящими внутреннее возмущение в систему, которое при неудачно выбранных конструктивных параметрах может привести к снижению надежности или преждевременному разрушению механизмов, что нередко происходит на практике. В работе даны необходимые исторические сведения, области применения карданных механизмов в различных отраслях техники (станкостроении, транспортных, металлургических, сельскохозяйственных, горных и других машинах). Рассмотрены типы поводковых механизмов для передачи движения между валами с пересекающимися осями, разнообразные схемы и конструкции полных карданов. Изложены основы анализа структуры и кинематики поликарданных механизмов, в том числе в последнем случае с использованием тригонометрических рядов. Это обстоятельство делает полученные зависимости удобными для динамического исследования вследствие простоты операций их дифференцирования и интегрирования. По традиции были исследованы системы с карданными передачами и упругими звеньями, описываемые неоднородными дифференциальными уравнениями Матье.

На рис. 4 графически изображено полученное посредством АВМ решение для системы привода электроустановки, содержащей четыре простые карданные передачи, двигатель и рабочий орган. Кривая 1 соответствует моменту сил упругости в упругой связи перед выходным звеном, 2 – разности углов поворота на выходе и входе системы, 3 и 4 – угловым скоростям входного и выходного звеньев. В системе возбуждаются интенсивные знакопеременные динамические нагрузки вследствие наличия карданных передач и неудачно выбранных параметров. Были рассмотрены области устойчивости, а также динамика поликарданных передач и разработаны критерии получения синхронности сложных поликарданных передач с пространственным расположением, т.е. обеспечения постоянства отношений угловых скоростей входного и выходного звеньев.

Давая оценку монографии "Карданные передачи", профессор F.R. Erskine Crossley (США, Массачусетский университет) писал: "Это интересная небольшая книга по очень важному специальному вопросу, который имеет большое значение для военных транспортных средств". Об этой же книге профессор Szekele Imre (Румыния, г. Клуж) отзывался следующим образом: "В книге показано, как можно ясно и в сжатом виде представить очень ценный материал, полезный в равной мере ученому, конструктору и студенту".

Еще в начале своего пути как исследователя С.Н. Кожевников придавал большое значение учету влияния переходных процессов в электрической системе двигателя на динамическую нагруженность звеньев машинного агрегата при нестационарном движении. Это требовало отказа от использования в модели электродвигателей однозначной зависимости момента от угловой скорости ротора двигателя, и Сергей Николаевич одним из первых применил динамическую аналогию, дополнив математическую модель дифференциальным уравнением пер-





**Рис. 4.** Графики результатов моделирования динамики многокарданной передачи

вого порядка, связывающим силу тока якоря и напряжение, а также электрические параметры двигателя. Воздействующий на ротор двигателя динамический момент задавался пропорциональным силе тока.

Принимая во внимание особенности реальных машинных агрегатов, Кожевников также придавал большое значение исследованию другого типа гибридных систем, в которых с элементами механизмов традиционного типа взаимодействуют гидравлические или пневматические. Такого типа агрегаты получили широкое распространение в современном машиностроении в технологических линиях, в частности на металлургических предприятиях, так как позволяют воссоздавать высокие удельные нагрузки в расчете на единицу объема двигателя (превосходя в этом отношении электродвигатели) или обеспечить высокое быстродействие при сравнительно простой конструкции исполнительного механизма вращательного или поступательного движения. Гидравлический и пневматический приводы позволяют успешно осуществлять автоматизацию работы и защиту от перегрузок механизмов машины.

Проблемы создания надежных систем с гидромеханизмами предопределили необходимость разработки теоретических методов исследования динамических процессов в них. Для этого должны были быть разработаны основные принципы математического описания гидромеханических систем с учетом основных их физических свойств и методов решения математических моделей.

Исторически к исследованиям гидромеханических и пневматических систем С.Н. Кожевников приступил после того, как им уже была разработана теория исследования систем механизмов с упругими звеньями. Здесь мы видим преемственность взгляда на динамические системы гидро- и пневмомеханизмов, т.е. прослеживается аналогия с представлениями об обычных механизмах как совокупности взаимодействующих инерционных и упругих звеньев, а также приводных двигателей и рабочих органов. По-прежнему отдавалось предпочтение дискретным системам, описываемым обычными дифференциальными

уравнениями, что имеет место, когда приведенная расчетная динамическая система состоит из звеньев, наделенных либо только упругостью, либо только массой.

При таком подходе методика аналитического расчета, созданная С.Н. Кожевниковым ранее, распространялась на гидромеханические системы. Оставались неразработанными методы составления математических моделей гидромеханизмов и определения приведенных параметров. Эти научные задачи были исследованы в ряде работ Кожевникова и завершены в монографии "Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин". В ней в сжатой, но весьма информативной форме даны необходимые сведения о теории движения жидкости и свойствах последней, а также о разновидностях основных гидравлических агрегатов и устройств, используемых в машиностроении для привода, регулировки, управления и предохранения от перегрузок. Описаны наиболее часто используемые усилители и следящие устройства. Даны сведения о физических свойствах трубопроводов и возникающих в них колебаниях – продольных, крутильных и комбинированных, обусловленных различными причинами, в том числе пульсацией подачи жидкости насосами, изменением технологического процесса, работой систем управления, защиты и распределения, приводящими к разрыву и восстановлению действующих гидравлических связей. Приведен анализ причин возникновения автоколебательных процессов в связи с особенностями функционирования гидромеханических систем и наличия специфических элементов с нелинейными свойствами. Рассмотрены неудачные решения, приводящие к резким динамическим перегрузкам в связи с возникновением гидравлического удара при внезапном перекрытии клапанов или золотников. Изложен основной подход для определения приведенной массы жидкости из учета ее кинетической энергии на основе различных законов распределения скорости жидкости по сечению трубопровода.

Масса жидкости в трубопроводах в зависимости от объекта исследования приводилась к поршню, плунжеру и другим подвижным звеньям системы, причем величина этой приведенной массы, как правило, имела различные значения для прямого и обратного хода в силу неодинаковости параметров напорной и сливной линий. При составлении математической модели гидромеханической системы машины в большинстве случаев учитывались упругие свойства не только жидкости, но и трубопроводов и других элементов конструкций, чем достигалось сохранение потенциальной энергии исходной и расчетной систем. При этом определялся приведенный модуль упругости гидравлического тракта, отражавший соответствующие свойства гидромеханической системы. Полученные таким образом дискретные модели с успехом применялись для решения различных задач, в том числе таких, когда в системе происходят динамические процессы типа "гидравлического" удара.

Естественно, что для систем, имеющих трубопроводы большой длины, отмеченная дискретная модель отражала свойства реального

**Рис. 5. Картина динамической нагруженности механизма гидрораспора валков**

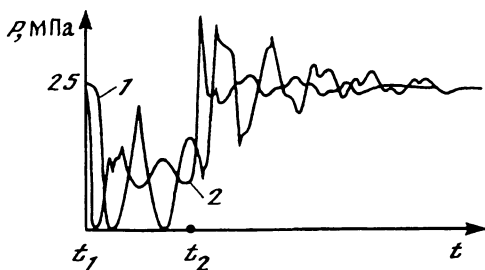
объекта в недостаточной мере, т.е. требовался переход к континуальной системе, описываемой дифференциальными уравнениями в частных производных. Учитывая малость

скорости движения жидкости по сравнению со скоростью распространения волны давления, были использованы упрощенные уравнения Н.Е. Жуковского, представляющие собой волновые уравнения, широко используемые в математической физике. В совокупности с граничными условиями, определяемыми физическими и конструктивными особенностями и внешними возмущениями, получены решения волнового уравнения для типовых вариантов механизмов и режимов их работы. При этом в связи с суммированием прямой и отраженной волн в системе могут происходить динамические усиления, которые снижаются по мере уменьшения величины отношения времени прохождения волны по длине трубопровода к времени включения управляющего органа.

По мере укорочения длины трубопровода давление в нем стремится к возмущению, формирующемуся вследствие открытия или закрытия органа подачи жидкости, т.е. при этом влиянием волновых процессов можно пренебречь и использовать для исследования дискретную модель с приведенными жесткостью и массой жидкости. Именно такие дискретные математические модели гидромеханизмов, учитывающие свойственные им нелинейности, с большим успехом были исследованы на электронных моделирующих установках, что дало богатый материал для модернизации существующих и синтеза множества модернизируемых и новых механизмов с более высокими технико-экономическими показателями.

Один из примеров математического моделирования гидромеханизмов на АВМ графически представлен на рис. 5 применительно к системе гидрораспора валков с автоматическим поддержанием величины усилия их давления для стана горячей прокатки листа. Как следует из полученных осциллограмм при захвате листа валками ( $t_1$ ) происходит резкое колебание давления  $P$  жидкости в мультипликаторе 1 и цилиндрах гидростата 2 с падением давления в цилиндрах ниже давления парообразования, т.е. с разрывами столба жидкости в гидростате. Пики давления при выбросе листа из валков ( $t_2$ ) более чем на 80% превышают установившийся перепад давлений.

Применительно к пневматическим механизмам были разработаны методы создания математических моделей, учитывающие состояние газовой среды, и практически проведено исследование динамической



нагруженности многих типов пневмомеханизмов на основе дискретных моделей, учитывающих упругость газа.

Не представляется возможным не отметить исследования, выполненные С.Н. Кожевниковым по динамике систем с кулачковыми механизмами. Тщательный выбор законов движения, позволяющий получить сравнительно невысокую интенсивность колебательных процессов в системе с упругими звеньями, привел к многим удачным решениям, реализованным на практике. Дано объяснение часто имеющей место невысокой эффективности кулачково-дифференциальных механизмов вследствие динамических перегрузок в замкнутых контурах их подвижных звеньев. Неясность причин усугублялась тем, что проводимые кинестатические расчеты этих механизмов не выявляли столь высокого уровня нагрузок.

С.Н. Кожевников считал бесплодными попытки подменить объяснение феномена перегрузок эффектом "циркулирующей мощности", которую использовали многие известные исследователи. Имея существенный смысловой недостаток, этот термин и связанные с ним процедуры анализа ничего не давали для понимания физики рассматриваемых процессов, поскольку для определения такой мощности необходимо знать момент натяжения в замкнутом контуре подвижных звеньев и угловую скорость вращения. Таким образом, вычисление такой мощности предполагает предварительное знание натяжения, а не наоборот. Поскольку все они – текущие характеристики развивающихся динамических процессов в системе, их теоретическое определение должно реализовываться на основе исследования уравнений движения, учитывающих все существенные физические свойства динамической системы кулачково-дифференциального механизма.

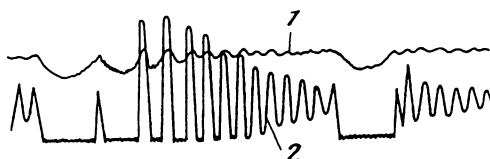
После того, как такая математическая модель была разработана и исследована на ЭВМ, выяснилось, что основная причина неудовлетворительной работы заключается в наличии зазоров в зубчатых зацеплениях, которые вследствие возвратно-качательного движения одного из звеньев неизбежно приводят к соударениям при их раскрытии и последующем смыкании, т.е. к высокому коэффициенту динамичности, получаемому на практике. При уменьшении величины зазоров динамические нагрузки снижаются, а при беззазорных зацеплениях практически не отличаются от значений, даваемых кинестатическими расчетами.

Ряд работ С.Н. Кожевников посвятил динамике машин на подвижном деформируемом основании. Эта проблема тесно связана со структурой механизмов, которые для нормальной работы должны адаптироваться, т.е. непринужденно приспосабливаться к деформации несущей рамной конструкции и звеньев самого механизма и, следовательно, не вызывать заземлений в кинематических парах. Динамическая нагруженность механизмов с корректно выполненной структурой определяется только технологическими нагрузками, а также воздействием переносных ускорений основания, если оно подвижно.

Одной из разновидностей нелинейных динамических систем ма-

шинных агрегатов являются системы, которые содержат элементы, приводящие к распадению на подсистемы и восстановлению их исходного состояния, что в математической модели проявляется в наличии негладких функций, т.е. скачкообразно изменяющихся коэффициентов дифференциальных уравнений. В настоящее время разработана математическая теория дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, описывающая такие системы. В некоторых случаях может происходить изменение количества уравнений и общего порядка системы уравнений.

**Рис. 6. Осциллограмма теоретического исследования динамики уширительного стана**



С.Н. Кожевников одним из первых исследователей-механиков по аналогии с теорией автоматического управления выделил такие механизмы в самостоятельный класс механизмов переменной структуры, провел ряд исследований и наметил перспективы дальнейшего развития этого направления динамики машин.

Практически с первых его работ по динамике в математических моделях присутствуют упругие безынерционные (реже распадающиеся неупругие инерционные) звенья с зоной нечувствительности типа "зазор", являющиеся широко распространенным элементом переменной структуры. В большинстве механизмов кинематические пары не имеют предварительного натяга и по соображениям обеспечения относительной подвижности образующих их звеньев выполняются с зазором. Из экспериментальных и теоретических исследований подобных систем С.Н. Кожевников неоднократно получал результаты, свидетельствующие о том, что коэффициенты динамичности во многом зависят от величины зазоров в сочленениях, причем во многих случаях реальных систем динамические нагрузки многократно превышают те нагрузки, которые отвечают идеализированной системе без зазоров. Кроме того, в отмеченных реальных механизмах расширяется спектр динамических реакций за счет более высоких парциальных частот распадающихся подсистем, увеличиваются шум и вибрации, снижается динамическая точность и качество работы машин. С.Н. Кожевников с учениками в числе первых провел исследования многих таких систем, подтвердивших существенное повышение коэффициента динамичности.

На рис. 6 даны графики одного из таких исследований уширительного стана, выполненных на аналоговой ЭВМ: 1 – угол относительного поворота в шпинделе с зазором, 2 – момент сил упругости в этом шпинделе. Из решения видно, что зазоры вызывают интенсивный колебательный процесс с соударениями, отрицательно влияющими на надежность. Данные теоретического исследования хорошо согласуются

ся с экспериментом, проведенным на стане, и подтверждают корректность математических моделей таких сложных систем.

Для борьбы с возникающим вследствие наличия зазоров нежелательным эффектом в ряде работ Кожевникова предлагаются конструктивные меры, а также регламентация режимов разгона, обеспечивающие неразрывность наложенных связей и нормальное функционирование рабочих органов, например, валков прокатных станов.

Важность исследования систем переменной структуры очевидна в случаях неустойчивающих геометрических связей, механических предохранительных устройств, ломаных характеристик сил упругости и т.д.

Из систем, меняющих порядок модели, С.Н. Кожевников исследовал главную линию прокатного стана с учетом захвата заготовки, требующим формирования в этот момент новых начальных условий. От его взгляда не ускользнуло, что при приведении масс инерционных недеформируемых звеньев с учетом трения в кинематических парах (в том числе в зубчатых зацеплениях) динамическая система оказывается системой переменной структуры, изменяющейся в зависимости от того, какое из группы звеньев в текущий момент является ведущим, например, начальное или последнее. Это только один из примеров механизмов переменной структуры с разрывными фрикционными связями.

Динамическими процессами в машинных агрегатах с фрикционными муфтами С.Н. Кожевников занимался как в раннем периоде своей деятельности, так и многократно позже. Разрыв фрикционной связи приводит к распадению системы и диссипации энергии, прекращающимся с восстановлением связи в фрикционной муфте. Имеются работы по самотормозящим механизмам, являющимся механизмами с неидеальными связями, обладающими несколькими режимами движения (т.е. структурами), отличающимися энергетическими характеристиками рассеивания в каждом из режимов.

Отмеченные особенности таких систем были в свое время обнаружены П. Пэнлеве\*, однако ему не удалось до конца объяснить возникающие парадоксы в интерпретации режимов движения некоторых из этих динамических систем, например, мгновенную остановку инерционного звена, образующего с неподвижной стойкой две неидеальные кинематические пары. Это же относится к трехзвенным самотормозящим механизмам, например, клиновым, винтовым и др. "Жесткий" удар без соударения, т.е. при непрерывающемся контакте в неидеальной паре и одинаковых нормальных составляющих абсолютных скоростей звеньев в точке их контакта происходит только в системах с определенными соотношениями геометрических и инерционных параметров, а также коэффициента трения скольжения. Примеров подобных систем существует неограниченно много.

В свое время по проблеме возникла обширная дискуссия, длившаяся много лет. Многими учеными, в том числе и Пэнлеве, парадоксы

---

\* См.: Пэнлеве П. Лекции о трении. М.: Гостехтеоретиздат, 1954.

объяснялись несовершенством физических представлений о механизме трения, и, следовательно, недостатками математического описания законов трения, сформулированных Кулоном. Впоследствии рядом исследователей показано, что, если рассматривать зону контакта как упругую, а не абсолютно твердую, парадокс исчезает, а движение в отмеченном режиме оказывается замедленным с продолжительностью, стремящейся к нулю по мере увеличения жесткости контакта. В работе "О парадоксах Пэнлеве" С.Н. Кожевников показал, что корректные результаты и интерпретация отмеченного режима могут быть получены на основе четких физических представлений даже без введения отмеченной податливости зоны контакта звеньев. Для этого достаточно принять во внимание, что в данном случае следует рассматривать не предельную силу трения, равную силе трения скольжения, а некоторую ее промежуточную величину, соответствующую реакции наложенной фрикционной связи.

Немаловажное значение С.Н. Кожевников придавал исследованию динамических процессов при срабатывании механических средств защиты от перегрузок. Неудачные конструкции многих предохранительных средств нередко приводят к развитию интенсивных колебательных процессов, т.е. такие муфты фактически не соответствуют своему назначению, как, например, зубчатые предохранительные муфты, используемые в сельскохозяйственном машиностроении. Подбор типов и параметров средств защиты должен осуществляться на основании исследования динамики поведения системы в процессе срабатывания защиты. Один из удачных примеров таких решений продемонстрирован С.Н. Кожевниковым и Н.С. Яковлевым при модернизации свеклоуборочного комбайна КСТ-3 с переводом основных его механизмов на гидравлический привод. Осуществленная при этом гидравлическая система защиты от перегрузок работала с высокой эффективностью, не вызывая сколько-нибудь заметных динамических усилений.

С.Н. Кожевников любил повторять, что "лучшая динамика, это когда ее нет", конечно, за исключением случаев, когда она возбуждается специально. Для улучшения динамических свойств сельскохозяйственных машин, ходовой части тяжелых кранов металлургических заводов им (в составе авторского коллектива) была разработана конструкция металло-резиновых муфт, выполнявших роль гасителя крутильных колебаний, что было подтверждено сравнительными экспериментальными исследованиями.

Существенный вклад внес С.Н. Кожевников в исследование динамических процессов в инерционно-импульсных вариаторах скорости. Преимуществом таких механизмов является оптимальное использование мощности приводного двигателя при меняющейся нагрузке на рабочем органе (выходном звене). При уменьшении нагрузки происходит автоматическое увеличение скорости вращения, и наоборот. После разгона механизм может работать в режиме динамической муфты, т.е. прямой передачи от двигателя к рабочему органу с сохранением функции механической защиты от перегрузки.

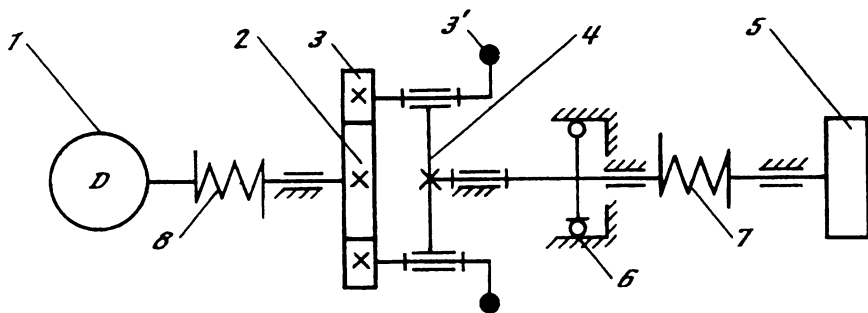


Рис. 7. Схема инерционно-импульсного вариатора скорости

Один из примеров инерционно-импульсного вариатора скорости дан рис. 7, на котором обозначено: 1 – двигатель, соединенный через упругое звено 8 с центральным колесом 2 дифференциального механизма, содержащего также сателлиты 3, неуравновешенные звенья 3' и водило 4. Последнее соединено с муфтой свободного хода 6 и через упругое звено 7 – с рабочим органом 5. Неотъемлемым элементом таких механизмов является муфта свободного хода, которая заклинивается в одном из двух возможных направлений вращения и свободно вращается в другом. Заклинивание чаще всего реализуется посредством сил трения. На основе математического моделирования таких существенно нелинейных систем получен важный результат, подтвержденный впоследствии экспериментально, заключающийся в том, что на величину скорости выходного звена такого вариатора оказывает влияние величина жесткости упругого элемента 7, расположенного между выходным звеном 5 и дифференциальным возбудителем 2, 3, 3', 4 момента сил инерции, формируемого посредством неуравновешенных сателлитов.

На рис. 8 изображены полученные в результате исследования на ЭВМ математической модели вариатора графики текущих переменных при наличии проскальзывания в муфте свободного хода. Кривые 1, 2, 3, 4 соответствуют угловым скоростям поворота звеньев 1, 2, 4, 5 (см. рис. 7), кривые 5, 6, 7, 8 – моментам: двигателя ( $M_1$ ), в упругой связи 8 ( $M_{12}$ ), воздействия неуравновешенных масс 3' на водило 4 ( $M_{34}$ ), в упругой связи 7 ( $M_{45}$ ). Несмотря на интенсивные динамические нагрузки ( $M_{34}$ ), возбуждаемые неуравновешенными грузами, момент сил упругости  $M_{45}$ , действующий на выходное звено 5, близок к постоянному значению. Естественно, что столь сложные динамические задачи требовали цифровых ЭВМ, на использование которых С.Н. Кожевников перешел после 1970 г. Для решения задач динамики инерционно-импульсных вариаторов скорости потребовалась корректная математическая формулировка условий перехода от одной структуры системы к другой, а также переопределение начальных условий (с использованием



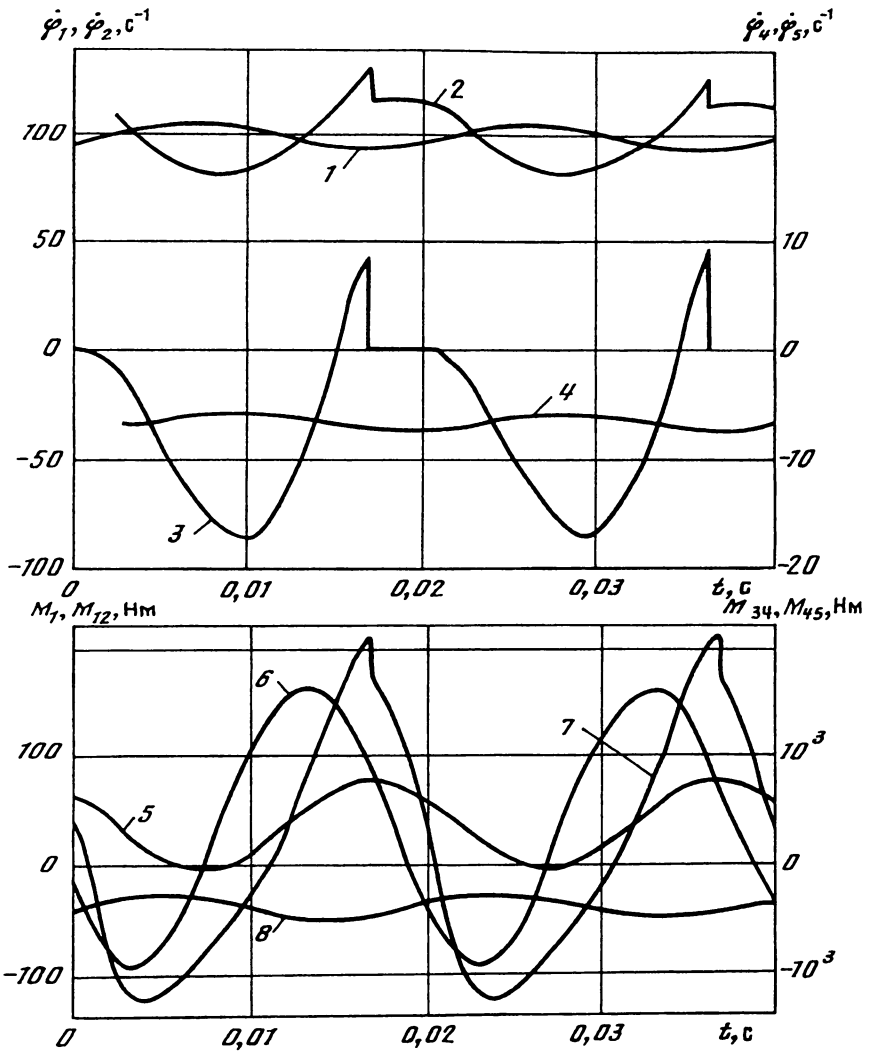


Рис. 8. Графики динамических характеристик в инерционно-импульсном вариаторе скорости

теоремы Карно) после соударения вследствие проскальзывания в муфте свободного хода.

В период работы в Украинской сельскохозяйственной академии С.Н. Кожевников совместно с аспирантами и соискателями провел исследования структуры и динамики ряда сельскохозяйственных машин. Их недостаточная надежность не удовлетворяла потребителей и причиной тому были высокие динамические нагрузки и некорректная

структура, в результате чего возникали самопроизвольные натяжения в контурах звеньев механизмов. Так, в свеклоуборочном комбайне КСТ-3 после обработки 20–40 га свекловичного поля интенсивность отказов резко нарастала, вызывая длительные простои во время уборки урожая. Комбайн имел разветвленную кинематическую схему с карданной и многочисленными цепными передачами, приводимыми от одного общего источника энергии. Для защиты от перегрузки в комбайне использовались 4 кулачковые муфты, при срабатывании которых возникали колебательные процессы высокой интенсивности, т.е. свое функциональное назначение муфты выполняли неудовлетворительно. Цепные и карданные передачи являлись постоянными внутренними возбудителями колебаний в системе, динамические свойства которой при проектировании, по всей видимости, не анализировались.

Одним из первых решений по повышению надежности свеклоуборочного комбайна и других сельскохозяйственных машин, разработанным руководимым С.Н. Кожевниковым коллективом, явилась соединительная металло-резиновая муфта, изображенная на рис. 9 с полумуфтами 1 и 2 и промежуточным металло-резиновым диском 3. В структурном отношении она позволяла исключить избыточные связи и дополнительные натяжения в звеньях механизмов, в динамическом – препятствовать развитию существенных колебательных процессов. Кроме того, в муфте были практически исключены элементы с внешним трением, что весьма существенно для надежности при работе в условиях постоянного загрязнения.

На рис. 10, а изображены полученные экспериментально осциллограммы динамических нагрузок в серийном свеклоуборочном комбайне КСТ-3 при установившемся процессе на холостом ходу. На этом рисунке обозначены моменты сил упругости валов: 1 – привода левого теребивильного аппарата, 2 – привода транспортера ботвы, 3 – привода левого ботворежущего аппарата, 4 – отбора мощности (агрегирующего трактора). На осциллограммах рис. 10, б эти же моменты изображены для комбайна, оснащенного упругими резино-металлическими муфтами взамен использовавшихся цепных. Максимальные значения моментов  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  уменьшились соответственно в 2,18; 1,7 и 1,35 раза, несколько снизились средние значения моментов вследствие улучшения структуры механизмов. В 1,45 раза снизились пиковые значения нагрузок при срабатывании предохранительных муфт.

Сравнительные экспериментальные исследования серийного и модифицированного комбайнов под нагрузкой подтвердили высокие демпфирующие и компенсационные свойства металло-резиновых муфт и еще более существенное, чем на холостом ходу, снижение максимальных и средних значений нагрузок при использовании этих муфт. Впоследствии металло-резиновые муфты были установлены на ряде других сельскохозяйственных машин (ботвоуборочной БМ-6, насосной установке СНП-50-80 агрегата искусственного дождевания и др.), и экспериментальные данные подтвердили их высокие технические

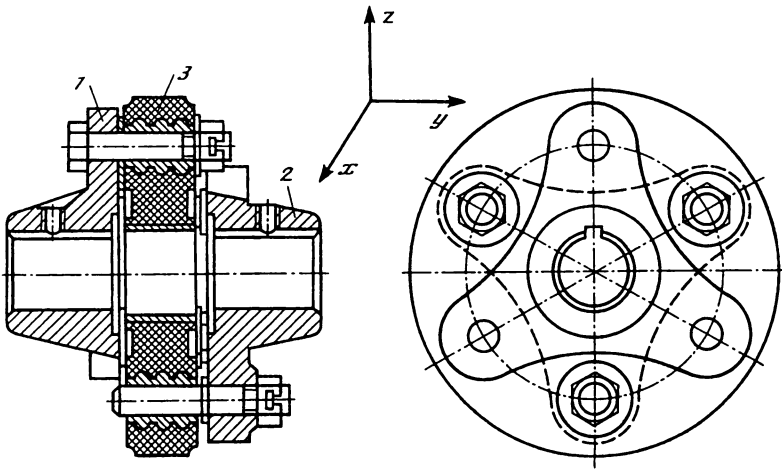


Рис. 9. Металло-резиновая муфта

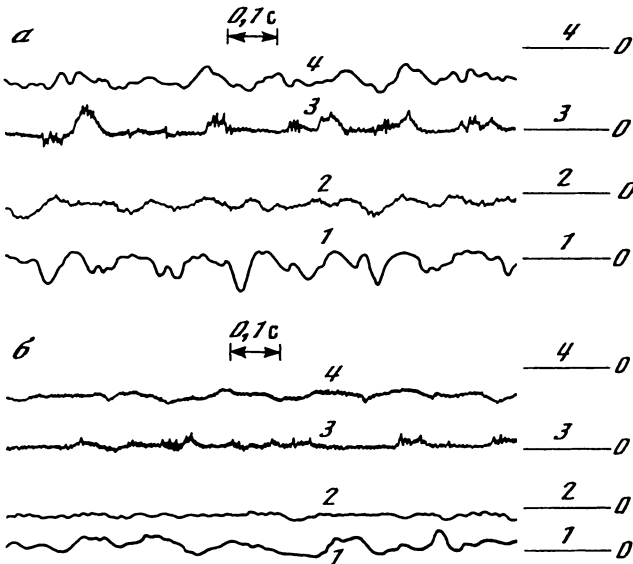


Рис. 10. Осциллограммы динамических нагрузок в серийном и модернизированном свеклоуборочном комбайне КСТ-3

качества. Были проведены работы, ориентированные на использование металло-резиновых муфт в оборудовании Криворожского металлургического завода, в частности, в трансмиссии ходовой части мостовых кранов.

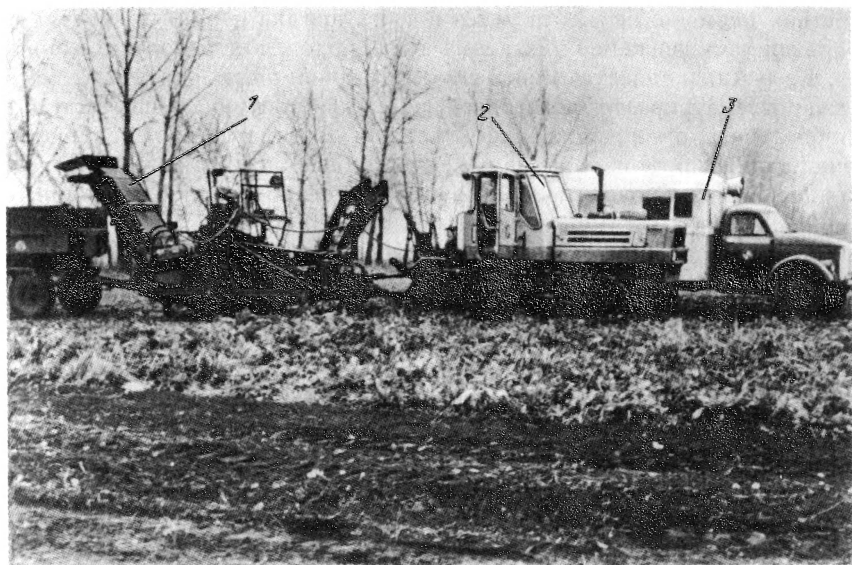
Следующим этапом исследовательской работы по усовершенствованию свеклоуборочного комбайна КСТ-3 было создание и экспе-

риментальная проверка его гидрофицированного варианта с приводом рабочих органов от отдельных гидродвигателей. Этим достигалось значительное упрощение кинематической схемы комбайна с ликвидацией многочисленных цепных и карданной передачи и исключалось взаимное влияние и наложение возбуждений смежных механизмов. Упрощались вопросы решения структуры механизмов, расположенных на деформируемом основании, снижалось количество поверхностей трения кинематических пар механизмов. В 1972–1973 гг. было изготовлено и испытано два гидрофицированных комбайна КСТ-3: первый с использованием аксиально-плунжерных гидромоторов для привода основных рабочих органов, второй – полностью гидрофицированный с гидромоторами шестеренного типа. Были проведены стендовые и эксплуатационные испытания комбайнов при уборке сахарной свеклы на полях агростанции Украинской сельскохозяйственной академии (с. Мытница Васильковского района Киевской области), колхозе им. Горького и Украинской машиноиспытательной станции (Киевской области). Гидрофицированные комбайны отличались от предшественников практически бесшумной работой, высокой безопасностью обслуживания, лучшим качеством работы, снижением отказов, возникающих из-за забивания механизмов ботвой, что характерно для серийно выпускаемых комбайнов со сложной трансмиссией и большим количеством вращающихся звеньев и цепных передач.

Были проведены тензометрические испытания новых комбайнов в полевых условиях на различных режимах с использованием передвижной тензолаборатории. На всех режимах работы гидрофицированных комбайнов (пуске, холостом и рабочем ходе, перегрузке со срабатыванием защиты) динамические нагрузки были значительно ниже, чем в серийных комбайнах. Процессы протекали более плавно и характеризовались более низкими частотами. Снизилась потребляемая мощность. Особенно эффективно работала гидравлическая система защиты от перегрузок.

Практические разработки в области гидрофикации сельскохозяйственных машин, выполненные С.Н. Кожевниковым и небольшим коллективом его сотрудников, зародили новую концепцию и на несколько лет опередили соответствующие работы крупных головных институтов сельхозмашиностроения (ВИСХОМ, УкрНИИСХОМ, ВИМ и др.). Были продемонстрированы преимущества и прочерчены перспективы использования гидромеханических систем как одного из направлений научно-технического прогресса в этой области.

Как пытливый исследователь, С.Н. Кожевников интересовался поведением динамических систем с повторяющимися фрикционными связями, например, в двухручьевых клиноременных вариаторах или сушильных барабанах с параллельным приводом на несколько ведущих роликов. Учитывая неизбежные погрешности выполнения реальных передач, номинально повторяющиеся фрикционные связи фактически вносят отличающиеся ограничения (в данном случае геометрические), что существенно нарушает планируемую работу системы, так как



**Модернизированный свеклоуборочный комбайн КСТ-3 с гидрофицированным приводом рабочих органов во время полевых испытаний (1 – комбайн, 2 – агрегирующий трактор, 3 – передвижная тензоплаборатория)**

параллельные ветви несут неодинаковую нагрузку, зависящую от точности изготовления. Некоторые из этих ветвей вместо ведущих могут превратиться в ведомые. Поэтому недопустимо расчетную схему такой замкнутой динамической системы с кажущейся симметрией заменять упрощенной совмещенной, в которой параллельные ветви принимаются эквивалентными по нагруженности. На уровне изобретений созданы конструкции с сохранением параллельных ветвей привода, но исключающие повторяющиеся фрикционные связи и динамические перегрузки в отмеченных механизмах.

В работах С.Н. Кожевникова получили развитие идеи о влиянии на динамические системы с распределенными параметрами (массой и упругостью) звеньев ускорений второго и более высокого порядка. Сказанное относится и к  $n$ -массовой дискретной упруго-инерционной, например линейной системе, движение которой можно записать одним дифференциальным уравнением порядка  $2n$ , имеющим в качестве начальных условий не только координату и скорость в момент времени  $t = 0$ , но и третью и более высокие производные, вплоть до  $(2n - 1)$ -й.

Проблемы, связанные с действием ускорения второго порядка, рассмотрены в работе "О динамическом эффекте действия ускорений высшего порядка", написанной С.Н. Кожевниковым совместно с Д. Манжероном. Рассмотрена задача об отыскании нагруженности стержневого механизма, обладающего распределенной массой и упру-

гостью. Решение осуществляется в два этапа, на первом из которых определяется движение механизма в предположении неупругих звеньев, т.е. устанавливается кинематика движения шарниров. На втором этапе рассматривается поведение звеньев как континуальных систем с кинематическим возбуждением, т.е. под воздействием переносного ускорения, определяемого из ранее установленного закона движения концевых шарниров звеньев. При этом частные решения  $F_n(t)$  полного дифференциального уравнения (в частных производных) для нестационарного режима приводится к виду

$$F_n(t) = \frac{1}{\beta_n^2} f_n(t) - \frac{1}{\beta_n^2} \int_0^t f_n'(\tau) \cos \beta_n(t - \tau) d\tau,$$

где  $f_n(t)$  – функция нормальной к оси звена составляющей линейного  $W_A$  ускорения шарнира  $A$  звена и углового  $\ddot{\Phi}$  ускорения звена при переносном движении,  $\beta_n$  – составляющая спектра круговых частот изгибных колебаний звена.

Первое из слагаемых приведенного выражения можно трактовать как статическое воздействие переносного ускорения на континуальную систему, а второе – как динамическое усиление, зависящее от третьей производной по времени от возмущающих перемещений, т.е. от ускорений второго порядка  $f_n''(t)$ . Этим показана связь и зависимость деформаций и напряженного состояния звена механизма от высших ускорений, возбуждающих систему, и дан выход в практику разнообразным теоретическим построениям, выполненным применительно к высшим ускорениям недеформируемых тел, для расчета напряженного состояния звена с распределенными параметрами в механизме с нелинейной кинематической передаточной функцией. Сергей Николаевич установил критерии использования числа членов разложения, а также отметил, что динамический эффект действия ускорений второго порядка зависит от соотношения режимного и конструктивного параметров, первый из которых отражает время нарастания возмущающего ускорения до максимального значения, а второй является периодом собственных колебаний. Таким образом, доказано, что при нестационарном режиме движения при определенных параметрах системы и возбуждения на динамическую нагруженность оказывают влияние ускорения второго порядка.

С.Н. Кожевников придавал большое значение проверке физической адекватности полученного математического результата. В качестве наглядного примера реакции живого организма он многократно обращал внимание спутников на поведение своей маленькой собачки болонки в лифте. В момент трогания лифта, особенно при спуске вниз, собачка быстро вставала на задние лапки, чтобы компенсировать неприятное физиологическое ощущение, вызванное достаточно резко меняющимся ускорением, и тут же опускалась на четыре лапки, сохраняя такое положение на всем пути равномерного движения лифта.

Работа была продолжена Кожевниковым и ее результаты доложены на III Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике. Один из аспектов этой проблемы рассмотрен Сергеем Николаевичем применительно к дискретным системам и изложен в докладе "О выборе рациональной тахограммы транспортных машин". Цель работы – решить задачу, связанную с определением закона изменения скорости привода в процессе разгона и торможения различных транспортных механизмов (мостовых кранов, слитковозов), механизмов шахтного и скипового подъема, а также лифтов. На характер поведения таких систем оказывают влияние не только максимальное ускорение, но и так называемый рывок, или производная ускорения. Физиологические ощущения пассажиров зависят главным образом от изменения производной ускорения. Показано, что решающим фактором, определяющим динамическую ошибку перемещения ведомой массы, или динамическое натяжение в упругой связи, является время нарастания ускорения до установившегося значения, отнесенного к периоду собственных колебаний ведомой массы. Этот параметр  $\lambda$  системы может быть реализован при построении тахограммы. Практически достаточно принять  $\lambda > 3-4$ , чтобы с динамической ошибкой можно было не считаться.

Сложность разработки математического описания динамических систем различных машин и соответствующего программного обеспечения привели С.Н. Кожевникова к выводу о необходимости создания моделей простейших подсистем, являющихся носителями каких-либо характерных свойств. Имея полный набор таких стандартных модулей, можно легко "собрать" полную модель машины, не связывая себя с трудоемкими процедурами применения уравнений Лагранжа к многомерным системам. Такие результаты были опубликованы С.Н. Кожевниковым в открытой печати и в материалах VI всемирного конгресса ИТОММ (Международной федерации по теории машин и механизмов) и развивались в работах его учеников.

При оценке вклада С.Н. Кожевникова в развитие взглядов, подходов и методов исследования динамики машин, поражает колоссальный объем выполненной работы, в большинстве случаев нашедший отражение в публикациях. Уникально и интеллектуальное содержание этих исследований. Естественно, что это стало возможным не в результате постоянного насилия над своей природой, а вследствие быстроты и точности принимаемых решений, целенаправленных действий, залогом которых явилась высокая одаренность, аналитический ум и неиссякаемое рыцарское отношение к избранной специальности.

Однако было бы ошибочным считать что процесс творчества был безоблачным и простым. Новые результаты нужно было не только получить и осмыслить, но и свыкнуться с ними и убедить в них окружающих. Это в первую очередь относится к представлению динамической системы машины в целом как совокупности взаимодействующих инерционных и упругих звеньев, вводить в рассмотрение упру-

гость не только таких очевидных элементов, как пружины, канаты, ремни, но и валов, стержней, шарниров, зубчатых зацеплений, корпусных и других деталей, что на первых этапах многим казалось необоснованным, приводящим к неоправданному усложнению моделей и их исследования. С годами накопился опыт экспериментальных исследований машин, который однозначно свидетельствовал о том, что без учета упругих свойств деталей, обладающих высокой жесткостью, невозможно теоретическими исследованиями воспроизвести реальные процессы в современных машинах. Таким образом, смелый для своего времени взгляд на машину постепенно был переведен в разряд общепринятых. Для настоящего времени характерно применение мощных компьютеров, позволяющих исследовать сложные модели машин с высокой степенью детализации динамических свойств, тем не менее в принципиальном отношении эти модели остаются такими же, какими их ввел в практику исследований С.Н. Кожевников в 30-х – 40-х годах XX в.

Некоторые решения доставались Кожевникову после длительных раздумий, которые постоянно сопровождали его. Например, он рассказывал, как осознание одной долго не дававшейся ему динамической задачи пришло к нему в момент обдумывания в переполненном московском трамвае, когда тот резко затормозил. Возникший дискомфорт и взаимные упреки пассажиров позволили связать воедино причину и следствие в динамических системах, возбуждаемых начальными условиями в форме скоростей.

Другую задачу о выборе места установки маховика в кинематической цепи механизма с упругими звеньями С.Н. Кожевников решил на пляже одного из курортных городов Болгарии во время отпуска. При этом на песке были записаны уравнения движения и выполнены основные процедуры анализа. В дальнейшем, после некоторой доработки и завершения, эти исследования были опубликованы.

Время неизбежно стирает в историческом сознании поколений детали деятельности тех или иных личностей, но выдающиеся из них избегают полного забвения. С уверенностью можно утверждать, что С.Н. Кожевников навсегда вошел в число ключевых ученых по механике машин и, в первую очередь, нестационарной динамике машинных агрегатов с реальными физическими свойствами звеньев и приводных двигателей.



---

**Работы по уравниванию  
металлургических машин.  
К дискуссии о силах вообще  
и силах инерции в частности**

Тесный творческий контакт С.Н. Кожевникова и его научной школы с металлургическими заводами Днепропетровской и других областей Украины явился основой для многих исследований в области динамики тяжелых машин, которые были продолжены в виде конкретных инженерных разработок и завершены внедрениями в действующее технологическое оборудование. Важнейшие работы такого комплексного характера безусловно связаны с динамическим анализом машин и синтезом уравнивающих устройств, которые конструктивно не были предусмотрены на многих тяжелых металлургических машинах с большой неравномерностью движения, хотя объективная необходимость их включения в состав системы механизмов налицо. Причины отсутствия систем уравнивания были различные, в том числе связанные с недостаточной теоретической проработкой вопросов выбора используемых физических процессов и принципиальных схем таких механизмов. В некоторых машинах уравнивающие устройства имелись, но качество их работы было неудовлетворительным.

Как уже отмечалось, большинство тяжелых машин металлургической промышленности работает в условиях высоких динамических нагрузок, что проявляется в пониженной их надежности и долговечности. К категории таких машин относятся станы горячей и холодной прокатки, кривошипно-трубные прессы, машины-автоматы для производства крепежных изделий и другие, содержащие массивные звенья с переменными скоростями (возвратно-поступательного) движения. Циклически повторяющиеся ускорения в таких системах, в том числе в положениях мгновенных остановок, обуславливают значительные силы инерции, достигающие величин десятков и сотен тысяч ньютон и нередко превышающие технологические нагрузки, для реализации которых машины предназначены. В результате в кинематических цепях механизмов машин, включая вращающиеся звенья, возникает существенная неравномерность движения, вызывающая раскрытие и последующее ударное смыкание зазоров в подвижных соединениях, с возникновением значительных дополнительных нагрузок, шума и вибраций. Все это часто не позволяет реализовать необходимую производительность и долговечность, обеспечить требуемые санитарные нормы труда оператора.

Кроме того, неуравновешенные механизмы машин оказывают вредное динамическое воздействие на фундамент, соседние машины и здания цехов, нередко вызывая их осадку и даже разрушение. Естественно, что в противовес этим негативным последствиям должны приниматься меры, направленные на поддержание необходимого уровня надежности и уменьшения виброактивности посредством уравновешивания сил инерции, что позволяет снизить нагрузки, действующие в тех или иных звеньях системы или передающиеся на фундамент (рис. 11).

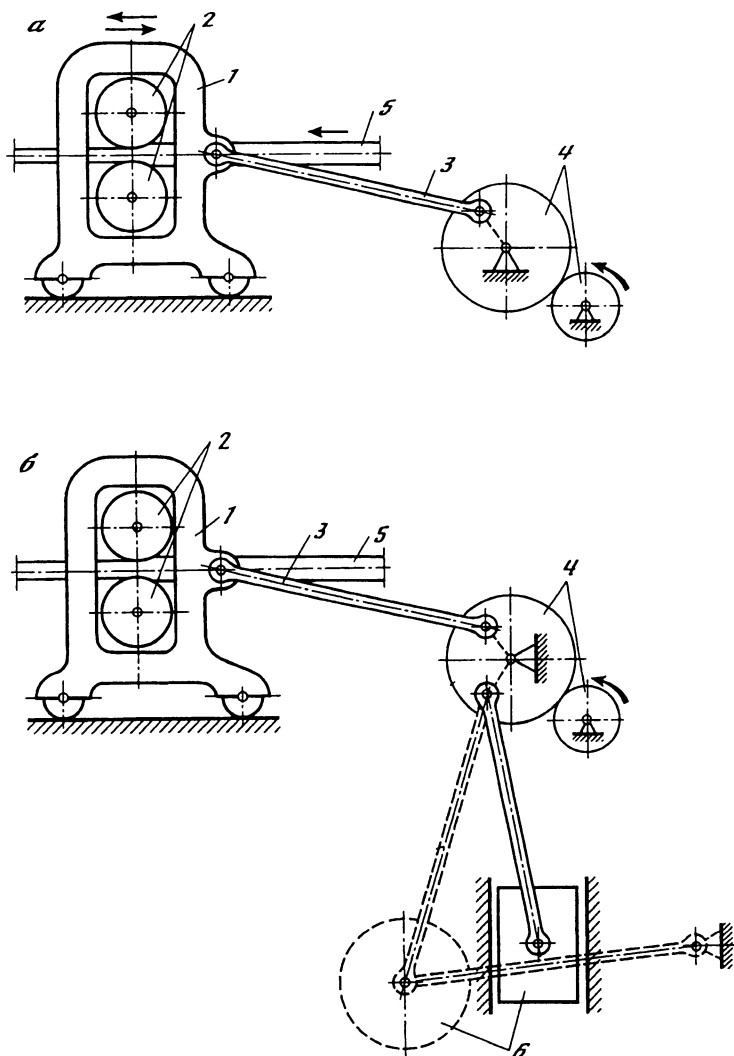
На рис. 11, *a* изображена традиционная схема главного привода стана холодной прокатки труб (ХПТ), основу которого составляет кривошипно-ползунный механизм. От двигателя через зубчатую передачу 4 и шток 3 клетки 1 задается возвратно-поступательное движение. Расположенные в клетке вращающиеся валки 2 осуществляют прокатку трубы 5. Уравновешивание кривошипно-ползунных механизмов представляет сложную техническую задачу, которая обычно решается не полностью. При этом чаще уравновешивают силы инерции звеньев, не принимая во внимание моменты сил инерции, т.е. осуществляют частичное уравновешивание, как экономически более обоснованное. Для этого необходимо, чтобы центр масс механизма оставался неподвижным, т.е. для кривошипно-ползунного механизма совпадал с осью вращения кривошипа относительно стойки. Это возможно при введении на кривошипе и шатуне противовесов, расположенных на их продолжении, т.е. вне контура традиционно изображаемой кинематической цепи механизма. При этом усложняется конструкция, увеличиваются габариты и металлоемкость, так как уравновешивающие массы оказываются значительными.

В работе И.И. Артоболевского\* приводится схема из двух симметрично расположенных с одинаковыми геометрическими и инерционными параметрами дезаксиальных кривошипно-ползунных механизмов. Их кривошипы образуют одно прямолинейное звено, ось вращения которого относительно неподвижной стойки расположена по середине. Этим обеспечивается уравновешивание сил инерции, передающихся на основание (фундамент), однако пара сил инерции остается неуравновешенной. В этой же работе дается другая схема кривошипно-ползунного механизма, позволяющая уравновесить также и моменты сил инерции. Общий ползун приводится в движение двумя конгруэнтными двухзвенными цепями (диадами), включающими каждая по шатуну и кривошипу. Последние закреплены на двух одинаковых зацепляющихся зубчатых колесах, на которых расположены специально подобранные противовесы. Такая схема обеспечивает уравновешивание сил и моментов сил инерции, однако она, как и первая, сложна для практической реализации, кроме того, механизм статически неопределим, что является существенным недостатком.

Упомянутые схемы предназначены для уравновешивания динамических компонентов реакций, действующих на фундамент, но при этом

---

\* Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988.



**Рис. 11. Схема механизма главного привода стана ХПТ**

*а* – без уравнивающего устройства, *б* – с механизмом уравнивания фирмы "Маннесман Меер"

не решаются вопросы снижения динамических реакций в других кинематических парах механизма, а также уравнивания момента сил инерции, приведенного к валу двигателя, что имеет большое значение для нормальной работы последнего. Для станков ХПТ всегда оставались наиболее актуальными вопросы уравнивания сил инерции клетки, о чем может свидетельствовать экспериментально определенная сила тока (рис. 12) двигателя стана ХПТ-55 без уравнивающего устрой-

ства. Как следует из этого графика, сила тока, а следовательно и развиваемый двигателем момент, носят интенсивный колебательный характер с изменением знака, свидетельствующий о том, что на определенных интервалах времени двигатель работает в генераторном режиме, крайне нежелательном. Тяжелые условия функционирования двигателя отражают высокий уровень динамической нагруженности системы в целом.



Рис. 12. Оциллограммы силы тока в электродвигателе привода клетки стана ХПТ-55

1 – без механизма уравнивания, 2 – с механизмом уравнивания

К 60-м годам нашего столетия существовало несколько технических решений по механизмам уравнивания станов ХПТ, однако в большинстве случаев эти устройства оказывались малоэффективными. Например, уравнивание крутящего момента на валу двигателя стана холодной прокатки труб предполагалось осуществить посредством соединения с одним двигателем трех прокатных станов с фазовым сдвигом приводов клетей, движущихся возвратно-поступательно, на угол  $120^\circ$ . Такая схема привода крайне громоздка и практически неосуществима, так как по условиям технологического процесса или в связи с ремонтом каждый из станов должен иметь возможность останавливаться независимо от других. Кроме того, усилия в звеньях каждого из трех кривошипно-ползунных механизмов по-прежнему оставались бы высокими.

Имелись другие способы уравнивания применительно к станам ХПТ. Фирма "Маннесман Меер" для уравнивания момента на двигателе вводила дополнительно кривошипно-ползунный или кривошипно-коромысловый механизм (последний показан штриховыми линиями) с уравнивающей массой  $b$ , расположенной на ползуне или коромысле (рис. 11, б). При этом, однако, усложнялась кинематическая цепь, значительно увеличивалась масса, сохранялись высокие нагрузки в звеньях.

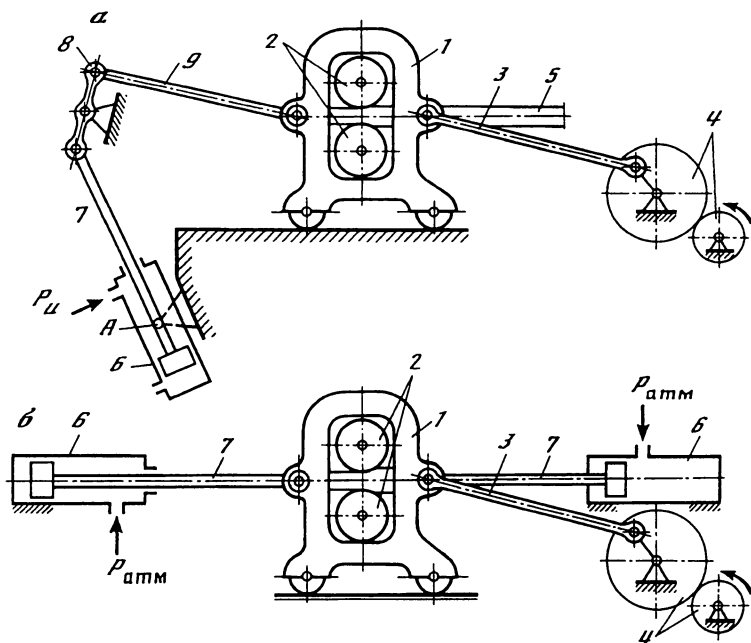
Существовали предложения устройств с двумя уравнивающими массами, причем траектории их движения и клетки могли быть параллельны. Такие устройства для уравнивания сил инерции имели тот общий недостаток, что устраняя почти полностью или частично неравномерность нагружения приводного двигателя силами инерции, они практически без изменений сохраняли ее в звеньях кривошипно-ползунного механизма стана ХПТ. Кроме того, вследствие упругости звеньев в усложненной системе могли развиваться дополнительные колебательные процессы, снижающие эффективность уравнивания. К этому же результату приводил случайный разброс

параметров (масс, моментов инерции, упругости) звеньев реальных машин и необходимость работы с различными скоростями движения. Еще одним из недостатков упомянутых систем уравнивания является значительное увеличение веса стана за счет введения противовесов, достигающее 30%.

Поэтому металлургические предприятия, эксплуатирующие станы ХПТ, поставили перед научными работниками задачу создания нового типа устройств уравнивания станков, лишенного перечисленных недостатков. К ее решению приступил коллектив ученых, а также инженерно-технических работников промышленных предприятий под общим руководством С.Н. Кожевникова. После тщательного изучения научной, технической и патентной литературы была принята схема, в которой уравнивающее устройство непосредственно соединялось с клетью, совершающей возвратно-поступательное движение, аккумулируя энергию в процессе одной фазы движения и возвращая ее в систему в процессе другой с минимальными потерями. Вследствие большого хода клетки техническая реализация пружинного, или торсионного уравнивания оказалась неприемлемой, к тому же при этом возникали трудности с осуществлением регулирования усилий уравнивания. Поэтому выбор пал на пневматические уравнивающие устройства, используемые для полиграфических машин, например для уравнивания сил инерции талеров плоскопечатных машин.

Здесь следует отметить, что на заводе тяжелого машиностроения (г. Электросталь) к тому времени уже было создано пневматическое уравнивающее устройство стана ХПТ (рис. 13, а), в котором для уравнивания сил инерции использован пневмоцилиндр б, соединенный со станиной стана посредством шарнира А вращательного движения. Поршень пневмоцилиндра б через шток 7, звено 8 и шатун 9 передает на клетку 1 уравнивающую силу. Для этого в полостях цилиндров поддерживается постоянное давление, однако последняя особенность приводит к тому, что силы инерции клетки уравниваются только частично (приблизительно на 50%). Кроме того, устройство достаточно сложно (имеет много звеньев и шарниров) и металлоемко. Имелись и другие прототипы, например немецкий патент (рис. 13, б), в котором упрощена конструкция механизма уравнивания, однако и в нем не были предусмотрены устройства для регулирования величины уравнивающей силы, что необходимо для переходных режимов во время пуска и остановки двигателя или при изменении скорости прокатки, поскольку силы инерции при равномерном движении пропорциональны квадрату угловой скорости вращения двигателя. Цилиндры б неподвижно закреплены на станине, в связи с чем механизм уравнивания оказывается статически неопределимым, а поэтому недостаточно надежным.

Уравнивающее устройство, созданное коллективом, возглавляемым С.Н. Кожевниковым, воплощало лучшие свойства предшест-



**Рис. 13. Схема пневматического уравнивающего устройства стана ХПТ**  
*а* – завода тяжелого машиностроения (г. Электросталь), *б* – немецкий патент

венников, обладало достаточной простотой конструкции, высокой эффективностью в работе и надежностью. Как показали теоретические и экспериментальные исследования, качественное приближение уравнивающей силы, формируемой пневматическими цилиндрами, к величине силы инерции клетки можно получить только при наличии определенной величины начального давления в цилиндрах в крайних положениях клетки. Схема устройства дана на рис. 14. Клеть *1* посредством штока *7* и поршня *8* соединяется с пневматическим цилиндром *6*. Цилиндр подвижно соединен с основанием посредством шарнира *A*, чем исключается повторяющееся условие связи и статическая неопределенность механизма. Ось штока *7* совпадает с осью прокатываемой трубы, в результате чего создаются оптимальные условия нагружения клетки *1*. В легких станах используется один, в средних и тяжелых – по два симметрично расположенных уравнивающих цилиндра с соответствующими им коромыслами, штоками и шарнирами. Подача воздуха в полости цилиндров *6* осуществляется от магистрали через регулируемый редукционный клапан *9*, создающий заданное начальное давление. Величина этого давления определяется толкателем *10* и кулачком *11*, вращение которого связано с контроллером, осуществляющим включение и управление скоростью

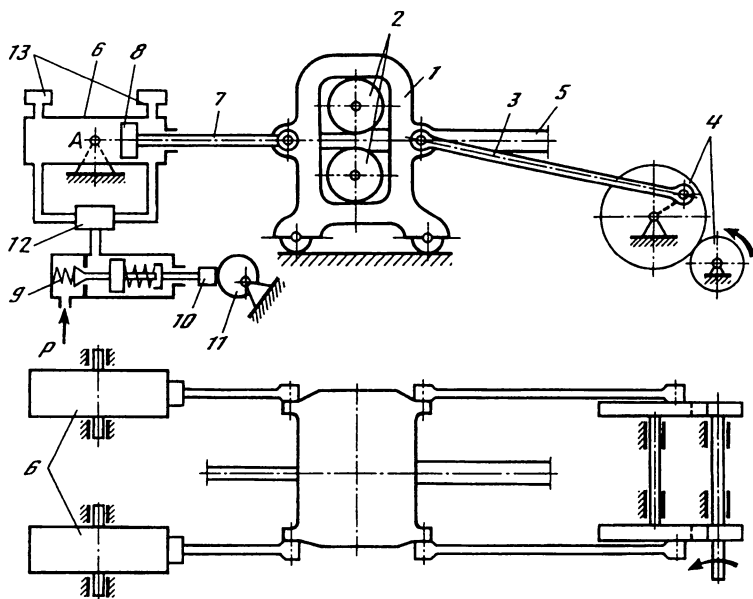


Рис. 14. Схема стана ХПТ с новым уравнивающим механизмом

электродвигателя. Каждому положению вала контроллера соответствует определенная скорость вращения двигателя, силы инерции клетки и начальное давление воздуха в цилиндре 6. При движении клетки в одной полости цилиндра воздух сжимается, в другой – расширяется и возникающие силы упругости в полостях цилиндров 6 через штоки 7 воздействуют на клеть 1, разгружая шатуны 3 и другие звенья механизма привода клетки и двигатель, причем величина уравнивающей силы соответствует скорости вращения двигателя. Электромагнитное устройство 12 отключает редукционный клапан при остановке стана и включает клапаны 13, обеспечивающие удаление сжатого воздуха с заданным сопротивлением в магистраль низкого давления. Для эффективного уравнивания неодинаковых по величине сил инерции в крайних положениях клетки используются разные степени сжатия воздуха в полостях при одинаковом начальном давлении.

Синтез параметров уравнивающих устройств был осуществлен с привлечением анализа термодинамических процессов в пневматических устройствах с учетом непрерывного теплообмена между объемом воздуха, металлическими деталями и окружающей средой. Об эффективности работы рассмотренного уравнивающего устройства свидетельствует график силы тока (рис. 12, кривая 2) электродвигателя. По сравнению с аналогичным станом (ХПТ-55) без уравнивания (сила тока представлена кривой 1, рис. 12) произошла стабилизация работы двигателя и всей системы механизмов, снизилась

нагрузка на шатуны, повысилась надежность, появилась возможность существенного увеличения скорости прокатки.

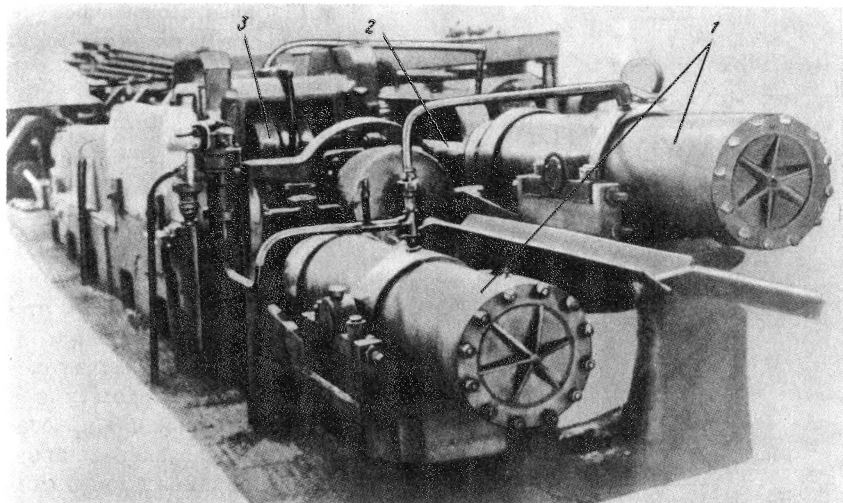
Новые уравнивающие устройства были установлены на большинстве станов Никопольского южно-трубного завода и позволили значительно повысить производительность. Например, для станов ХПТ-32 стало возможным увеличить число совершаемых в минуту двойных ходов клетки со 110 до 140–150, снизить коэффициент неравномерности движения в 3 раза. Существенным достоинством созданного уравнивающего устройства были его экономичность, обусловленная низкими потерями при термодинамических процессах, удобство и надежность в эксплуатации.

В исследовании и разработке данного уравнивающего устройства принимали участие С.Н. Кожевников и его ученики А.С. Ткаченко, Б.М. Климовский, А.А. Шведченко и др. Впоследствии в 1962 г. Кожевников и его ученики в составе коллектива авторов получили Государственную премию СССР "За создание высокопроизводительных станов ХПТ с комплексом новых механизмов", и в этом перечне был новый механизм уравнивания клетки станов ХПТ.

Другой механизм стана ХПТ, для которого удачно были решены вопросы уравнивания, находится в кинематической цепи механизма подачи и поворота заготовки. Для реализации возможности повышения производительности станом, возникшей в связи с созданием эффективного уравнивающего устройства в приводе клетки, необходимо было усовершенствовать механизм подачи и поворота заготовки, работа которого на высокоскоростных режимах была неудовлетворительной. Одна из наиболее распространенных разновидностей такого стандартного механизма в качестве базового элемента содержала муфту свободного хода, которая не обеспечивала стабильность величины подачи, что отрицательно сказывалось на качестве производимых труб. Не имеющая этого недостатка другая разновидность, сформированная на базе мальтийского механизма, имела низкую надежность из-за высоких динамических нагрузок, возникающих в системе в связи с большими приведенными к кривошипу переменными массами и высокими знакопеременными ускорениями, обусловленными особенностью конструкции и спецификой кинематики мальтийских механизмов.

Чтобы существенно снизить величины динамических реакций в кинематических парах системы подачи с мальтийским механизмом, было разработано уравнивающее устройство с тормозной системой и регулирующим ее работу в процессе движения механизмом. Это устройство позволило резко снизить динамические нагрузки и увеличить долговечность. Однако для высокоскоростных режимов эксплуатации оно оказалось мало пригодным, так как не обеспечивало в должной мере уравнивание реакций в кинематической паре ролик кривошипа – паз мальтийского креста. Знакопеременность реакции приводила к раскрытию зазора в этой кинематической паре с последующим смыканием и ударом. Для ликвидации этого и других не-



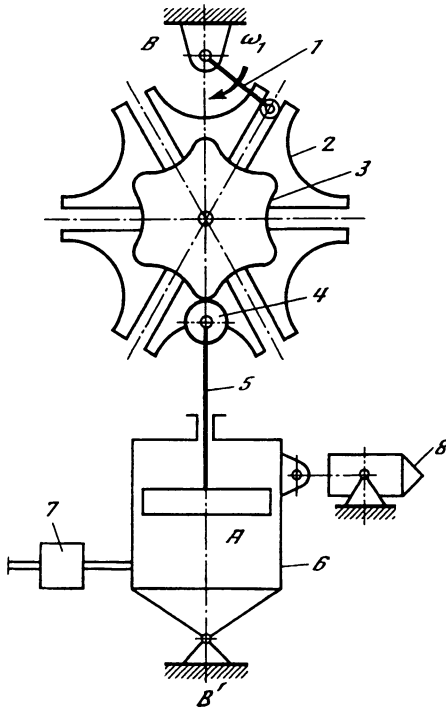


**Стан ХПТ с уравнивающим устройством (1 – цилиндры уравнивающих устройств, 2 – шток цилиндра, 3 – клеть с валками)**

достатков, а также уменьшения энергетических потерь было разработано новое уравнивающее устройство для мальтийских механизмов.

Его схема изображена на рис. 15. Здесь 1 и 2 кривошип и крест мальтийского механизма. Профилированный кулачок 3 жестко связан с крестом 2. Перекатывающийся по кулачку ролик 4 расположен на штоке 5 пневматического цилиндра 6, полость А которого соединена с воздушной магистралью через редукционный клапан 7. Когда кривошип располагается вдоль линии центров  $BB'$ , в полость А пневмоцилиндра подается воздух. При дальнейшем движении кривошипа кинетическая энергия звеньев, движущихся с остановкой, превращается в потенциальную энергию сжатого воздуха. В начале периода стояния креста 2 цилиндр 6 при помощи пневмоцилиндра 8 поворачивается на небольшой ( $1-2^\circ$ ) угол, что обеспечивает ускоренный разгон механизма в последующей фазе поворота креста за счет энергии сжатого в цилиндре 6 воздуха. Такое пневмокулачковое уравнивающее устройство позволило в несколько раз снизить динамические нагрузки в механизме подачи (для стана ХПТР 30-60 – в 4 раза).

В теоретических исследованиях, проектировании и доводке устройств данного типа принимали активное участие С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.Г. Бондаренко, Б.М. Климковский, Ю.И. Черевик. Механизмы подачи многих действующих станов ХПТ были модернизированы с введением мальтийских механизмов и пневмокулачковых уравнивающих устройств. Аналогичные механизмы стали исполь-



**Рис. 15. Уравновешивающее устройство для мальтийских механизмов**

зваться в новых станах ХПТ, серийно выпускаемых заводами тяжелого машиностроения.

Большой успех от сотрудничества науки и производства был достигнут при модернизации тяжелых кривошипно-трубных механических прессов, в том числе предназначенных для прессования труб из вязких сплавов. Интенсификация производства труб на прессах потребовала проведения широких теоретических и экспериментальных исследований, в ходе которых было установлено наличие высоких динамических нагрузок и определены причины их возникновения.

Среди мер, которые способствовали снижению перегрузок и повышению надежности и долговечности, одна из важнейших – введение уравновешивающего устройства (рис. 16) для выравнивания момента сил инерции на коленчатом валу прессы. Шток 2 пневмоцилиндра 1 устройства соединен с кривошипом 3 привода ползуна 4, осуществляющего прессование труб. Электрическое управление пневматическим клапаном 5 и распределителем 6 осуществляется от командоаппарата, соединенного с коленчатым валом прессы. Пневматический клапан предназначен для соединения полости А пневмоцилиндра с ресивером 7 (источником сжатого воздуха). Обратный 8 и перепускной 9 клапаны служат для соединения полости А пневмоцилиндра с атмосферой и поддержания заданного давления в этой полости. Введение уравновешивающего устройства позволило значительно снизить динамические нагрузки, исключить раскрытие зазоров в зубчатых зацеплениях редуктора, повысить надежность, долговечность и производительность. В создании устройства принимали участие С.Н. Кожевников, А.С. Малкин, А.С. Ткаченко, Б.Н. Лагутин, Б.М. Климовский.

На Никопольском южно-трубном заводе были модернизированы несколько таких прессов, что принесло большой экономический эффект от увеличения производительности и снижения затрат на ремонт и эксплуатацию. Кроме того, на этом же заводе были внедрены

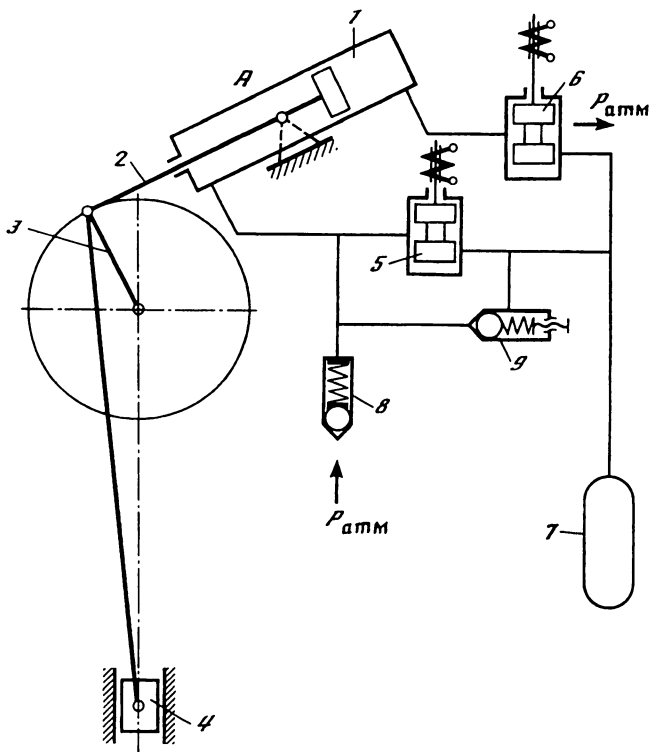


Рис. 16. Схема уравнивающего устройства прессы

система уравнивания верхнего валка автомат-стана ТПА-350 и механизмы уравнивания траверс линейкодержателей прошивных и раскатных станков ТПА-350 и ТПА-140.

Следует отметить, что практический вклад С.Н. Кожевникова и его научной школы в совершенствование систем уравнивания тяжелых машин металлургической промышленности не ограничивался описанными выше внедрениями в производство. Большой научно-технический задел по этой проблеме содержится во многих публикациях, а также авторских свидетельствах и патентах, выданных, в частности, в передовых в экономическом отношении странах – США, Англии, ФРГ, Франции, Италии. По станам холодной прокатки труб проданы лицензии зарубежным странам (Япония и др.). Имеются сведения о том, что в некоторых зарубежных странах (например, в Аргентине) эксплуатируются станы ХПТ с разработанными С.Н. Кожевниковым и его сотрудниками уравнивающими устройствами.

Значительные результаты, достигнутые в оснащении тяжелых машин металлургической промышленности современными уравнивающими устройствами и повышении таким образом их технического уровня, подтверждают эффективность использования углубленных

теоретических методов для синтеза систем механизмов с целью снижения динамической нагруженности звеньев и повышения надежности. При этом следует отметить тот факт, что исследования были ориентированы на нахождение оптимального компромисса между остаточной неуравновешенностью и сложностью и надежностью системы уравновешивания. Эти задачи были успешно решены и реализованы в технологическом оборудовании на действующих металлургических заводах, в первую очередь на Никопольском южно-трубном.

Столь крупные достижения в деле совершенствования систем уравновешивания металлургических машин могли реализоваться натурно благодаря тому, что к этому времени вокруг С.Н. Кожевникова сформировалась плеяда молодых энергичных сотрудников, для которых заводские цеха и экспериментальные участки металлургических заводов были такими же рабочими местами, как библиотеки, кафедры, исследовательские отделы и вычислительные машины. Наблюдая и анализируя особенности работы технологических машин, изучая соответствующие мнения инженеров и рабочих, они естественным образом постигали внутреннюю связь между теорией и экспериментом, между корректно составленными уравнениями движения и реальным поведением и качеством работы сложного оборудования. И в этом они неизменно ориентировались на своего наставника и учителя – С.Н. Кожевникова, который, несмотря на огромную загруженность научной, педагогической и организационной деятельностью, постоянно посещал те участки производства, где выявлялось неблагополучие в работе прокатного стана или пресса по причине структуры, кинематики и особенно динамики, и формировал научную идеологию последующих исследований и внедрений.

В связи с рассмотренными работами Сергея Николаевича по уравновешиванию машин, вызывают большой интерес его научные представления о силах инерции. Приведем их в том виде, в каком они изложены С.Н. Кожевниковым в одной из неопубликованных и незавершенных рукописей в связи с многочисленными дискуссиями по этому поводу.

#### *К дискуссии о силах вообще и силах инерции в частности*

В механике машин при кинетостатических и динамических расчетах пользуются понятием "сила инерции", полагая ее приложенной к звену, для которого определяются реакции, действующие со стороны входящих с ним в кинематическую пару звеньев. Сила инерции считается реальной силой, поскольку в результате ее действия в деталях механизма возникают определенной величины напряжения, в ряде случаев выходящие за пределы прочности, что приводит к разрушению звеньев.

Вопрос о реальности или фиктивности сил инерции оказался далеко не праздный. Он имеет не только методологическое, но и большое практическое значение, потому что отчетливое физическое представление об их происхождении позволяет решить ряд важных практических

ких задач. Разумеется, что в этом отношении нет нужды искать каких-то новых законов механики. Вся проблема решается, если последовательно и логично применять законы Ньютона, исследуя динамику системы подвижно связанных тел, которая представляет собой конкретный механизм. Важно поставить вещи на свое место и тогда не может возникнуть ни сомнений, ни споров о фиктивности или реальности сил инерции. В науке не может быть приверженности к той или иной точке зрения. Законы природы вполне определенным образом устанавливают связи между взаимодействующими материальными системами, в какой бы форме они не представлялись. Существо проблемы не должно затемняться терминологическими спорами, о фиктивности или реальности определенной категории, в данном случае силы инерции. Вопрос, очевидно, должен быть поставлен иначе, а именно, удачен или неудачен сам термин.

В 30-е годы текущего столетия на страницах научной печати возникла страстная дискуссия по поводу сил инерции. Реальны они или нет. Поводом для дискуссии послужила заметка профессора Л.Б. Левенсона, в которой излагалась просьба к читателям исправить некоторые неточности в определении сил инерции, допущенные в книге "Общая теория машин". В этой книге, например, говорится о парности сил инерции, что конечно неправильно (центробежной и центроостремительной). После этой заметки на страницах журнала "Вестник инженеров и техников" появилась статья Шора, в которой Л.Б. Левенсон обвинялся в том, что он глубоко заблуждается в простом, но важном вопросе о силах инерции. Это послужило началом длительной дискуссии, перекинувшейся на ряд научных журналов. Спор закончился нулевым результатом. Практики, утверждавшие на основе опыта, что под действием сил инерции происходит разрушение деталей машин, в частности под действием сил инерции разрушаются маховики, имели основание считать силы инерции реальными. Противники этой точки зрения остались при своем мнении, а именно: поскольку силы инерции действуют не на тело, а на связи, то перенос их на тело переводит их в категорию фиктивных сил.

Спор о реальности или фиктивности сил инерции возник, как мне представляется, вследствие того, что из поля зрения спорящих сторон исчезло главное, а именно, собственно определение понятия силы как некоего оператора меры направленного действия, оказываемого на тело, именно тело, обладающее массой, поскольку рассматривается механическое движение.

Всякое внешнее действие на материальное тело, независимо от происхождения этого действия, представляется как сила, т.е. как величина, имеющая определенную меру и направление. Действие может оказывать одно тело на другое, притом локальное, если контакт между ними происходит в точке, или распределенное, если контакт реализуется по поверхности. Действие на тело может оказывать поле – электрическое, магнитное, электромагнитное, гравитационное, жидкость сжимаемая или несжимаемая и пр. Все многообразие действий может

быть охарактеризовано одним оператором, удобным для анализа поведения материального тела, силой, изображая ее в виде вектора, если даже внешнее действие на тело распределенное. Этим самым получаем удобный для анализа аппарат, в котором используется изображение действия направленным отрезком со стрелкой на конце, именно только изображение. В действительности, конечно, никакой стрелки в зоне действия нет и не может быть. Здесь уместно привести некоторые выдержки из "Диалектики природы" Ф. Энгельса, касающиеся определения силы. "Представление о силе заимствовано, как это признается всеми (начиная от Гегеля и кончая Гельмгольцем), из проявления деятельности человеческого организма по отношению к окружающей его среде. Мы говорим о мускульной силе, о поднимающей силе рук, о прыгательной силе" ("Диалектика природы", с. 56). И еще: "Во всякой области естествознания, даже в механике, делают шаг вперед каждый раз, когда где-нибудь избавляются от слова сила..." (с. 122).

От применения принципа Даламбера, следовательно от использования понятия о силе инерции, при анализе движения механической системы можно отказаться, используя три основных закона механики, сформулированные Ньютоном:

1. Закон инерции: тело стремится сохранить прямолинейно-поступательное движение с постоянной скоростью, т.е. вывести из этого состояния тело можно только внешним воздействием.

2. Ускорение материальной точки прямо пропорционально силе (действию) и обратно пропорционально массе. Для вращающегося тела дополнительное условие: угловое ускорение тела прямо пропорционально моменту сил и обратно пропорционально моменту инерции массы.

3. Действие равно противодействию.

Эти законы собственно все и определяют. Они в то же время не дают основания считать силу инерции фиктивной, поскольку она якобы не приложена к телу. В самом деле, поскольку действие равно и противоположно противодействию, то при изменении состояния движения тела появляется, согласно закону инерции, кинетическая реакция, равная произведению ускорения и массы и направленная противоположно действию. Отсюда возникает вопрос, как можно оторвать кинетическую реакцию от тела, состояние движения которого изменяется, и перенести ее на связи. А если, например, тело находится в состоянии свободного падения и никаких связей, кроме гравитационного поля, нет, что же кинетическая реакция исчезает? И если кинетическую реакцию, противоположно направленную ускорению, назвать силой инерции, то, конечно, ее нужно приложить как силу к телу. Как объяснить деформации шатунов, подъемно-качающихся столов прокатных станов, возникновение напряжений в замкнутых системах типа обода уравновешенного маховика, деформации звеньев быстроходных стержневых механизмов, влияющие на точность выходного движения, уменьшение тяговой способности ременных передач и др., если силу инерции считать действующей на связи, а не на тело. С

этим неоспоримым фактом следует считаться, и в теоретических обоснованиях не должно быть никаких противоречий. Таким образом, слову "фиктивная", добавляемому к словам "сила инерции", нужно сказать категорическое нет и изъять его из употребления, особенно в процессе преподавания теоретической механики.

Если на тело действуют связи, например геометрические, определяющие закон изменения ускорения тела, как это имеет место в механизмах, то в них под действием сил инерции возникают соответствующие реакции, что находится в полном согласии с законами механики. Я остановился на вопросе о силах инерции потому, что этот вопрос имеет не только методологическое, но и большое практическое значение. Правильное представление о силах инерции позволяет найти эффективные решения при проектировании новых машин, особенно современных, к которым предъявляются повышенные требования в отношении надежности и точности.

Я хотел бы отметить в связи с этим одну из очень важных проблем современной механики машин, а именно проблему уравнивания сил инерции механизмов, возрастающих пропорционально квадрату угловой скорости входного звена. Для транспортных машин – автомобилей, тракторов, самолетов, неуравновешенные силы инерции являются нежелательным возбудителем переменных динамических нагрузок, часто причиной аварий. Силы инерции на стойку или фундамент не будут передаваться, если они будут заключены внутри механизма. Результирующая сила инерции звеньев механизма будет равна нулю только в том случае, если центр подвижных масс звеньев механизма будет неподвижен. Различные методы уравнивания построены в основном с целью получения указанного результата путем соединения соответствующим образом подобных механизмов или установкой соответствующих противовесов. Освободив от воздействия сил инерции стойку механизма, мы сохраняем нагрузки, воспринимаемые звеньями механизма, в частности нагрузки на шатуны кривошипно-ползунных механизмов, в ряде случаев значительно увеличиваем вес машины.

Метод полного или частичного грузового уравнивания, разработанный сначала в применении к поршневым двигателям, а затем перенесенный на другие машины, стал традиционным, однако от этого не приобрел универсальности. Задача, связанная с устранением перегрузок звеньев механизма, оставалась нерешенной, в то время как для ряда машин указанная задача – устранение перегрузок звеньев – является более существенной, чем уравнивание сил инерции на фундаменте. Проблема была решена в результате отказа от грузового уравнивания путем разработки новых средств устранения перегрузок от действия сил инерции путем локализации их специальными устройствами в зоне, близкой к их возникновению. Принцип действия этих устройств основан на преобразовании кинетической энергии в потенциальную, и наоборот – потенциальной в кинетическую. Отличительной особенностью этих устройств является наличие звеньев, спо-

собных накапливать потенциальную энергию. Нетрудно заметить принципиальное отличие такого способа уравнивания сил инерции от грузового уравнивания. Если при грузовом способе уравнивания увеличение кинетической энергии одних звеньев происходило за счет уменьшения кинетической энергии других, то при использовании нового принципа уравнивания кинетическая энергия преобразуется в потенциальную, и наоборот.

Если, например, к возвратно-поступательно движущемуся ползуну кривошипно-ползунного механизма присоединить шток пневматического механизма с цилиндром, укрепленным на фундаменте, и давление в полостях цилиндра при среднем положении ползуна сделать одинаковым, то нетрудно убедиться в том, что сила упругости сжимаемого воздуха всегда направлена противоположно силе инерции ползуна. Выбирая соответствующие параметры пневматического механизма и начальное давление воздуха, можно направить действие сил инерции через пневматический механизм на фундамент, разгружая этим шатун и коленчатый вал от действия сил инерции.

Указанная здесь идея использована при разработке уравнивающих устройств ряда машин, работающих в тяжелых динамических условиях, в том числе уравнивающего устройства сил инерции возвратно-поступательно движущихся клетей весом 10–15 т станов ХПТ. Разработанная в Институте черной металлургии АН Украины система уравнивания, принятая к реализации в промышленности, позволила создать высокопроизводительный стан ХПТ, во многом превосходящий по качеству зарубежные образцы, в которых использовано грузовое уравнивание. Итальянская фирма "Иночети" приобрела в СССР лицензию на производство стана, оснащенного пневматическим уравнивающим устройством, а принявшие участие в разработке сотрудники получили Государственную премию.

При наличии в механизме звеньев, движущихся с переменными скоростями, возникает неравномерная нагрузка в элементах трансмиссии и двигателе. Проблема выравнивания нагрузки на приводном валу для многих машин, например полиграфических, имеет весьма существенное значение потому, что при неуравновешенных силах инерции понижается качество продукции. Эта проблема нашла свое разрешение в результате разработки ряда специальных разгрузателей, снабженных носителем потенциальной энергии в форме пружин. Большие достижения в области исследования и проектирования разгрузателей, включающих в свой состав кулачок, позволяющий производить разгрузку по определенной программе, получены во Львове в школе профессора К.В. Тира.



## **Экспериментальные исследования. Унификация методов экспериментального исследования машин**

Эксперимент занимал важное место в творческой деятельности С.Н. Кожевникова. С ним связаны проверки адекватности теоретических концепций. Кроме того, он использовался для получения общей картины реальных динамических процессов в машинах с целью проведения последующих усовершенствований для увеличения их производительности, надежности, переводу на автоматизированные режимы работы.

Ранее отмечалось, что на заре своей научной деятельности Сергей Николаевич выполнил обширные экспериментальные исследования продольно-строгального станка. Исследование охватывало переходные режимы движения, которые отличаются повышенными динамическими нагрузками. При проведении эксперимента использовалась не только стандартная аппаратура, но и специально созданные для этого средства измерения. В результате скрупулезного анализа и сопоставления данных эксперимента с теоретическими исследованиями этого станка как упруго-инерционной системы была подтверждена концепция о проявлении упругих свойств звеньев в процессе работы и их существенном влиянии на динамическую нагруженность. Последующие экспериментальные исследования окончательно закрепили эту научную позицию.

С днепропетровским периодом деятельности С.Н. Кожевникова и его учеников связаны многочисленные экспериментальные исследования тяжелых металлургических и горных машин. Совместно с Я.М. Раскиным было проведено экспериментальное исследование гвоздильного автомата в лабораторных условиях. Особенностью автомата, как других аналогичных механизмов и машин – отбойных молотков, пружинных молотов и т.п., было наличие элемента с нелинейной жесткостью. Для регистрации перемещения точки подвеса упругой связи и возмущенного перемещения массы, ударяющейся о стальную преграду, использовались реохордные датчики. Установлено, что с увеличением угловой скорости работы растет различие возмущенного перемещения массы от возмущающего движения связи. Теория и эксперимент подтвердили целесообразность дорезонансного режима работы. Была определена величина коэф-

фициента восстановления скорости, для чего использован фотоэлемент и экран со щелью.

Для получения данных о динамических процессах были проведены исследования станков ХПТ на Никопольском южно-трубном металлургическом заводе. Регистрировались следующие переменные: перемещение клетки, подача трубы, давление на валки, усилия в шатунах и крутящий момент на валу механизма привода клетки. Для этого использовались реохордные и проволочные датчики, а также специально сконструированная месс-доза. В результате эксперимента усановлено, что соответствующие механизмы на станках ХПТ-32 и ХПТ-55 не обеспечивают постоянства подачи трубы, что отрицательно сказывается на ее качестве.

На Коксохимическом заводе им. Калинина были выполнены исследования роторного вагоноопрокидывателя, предназначенного для разгрузки вагонов грузоподъемностью 60 т, перевозящих сыпучие материалы. Усилия в канатах измерялись с помощью специальных приспособлений, динамические моменты на тихоходных валах – с помощью крутильного динамометра. Регистрировалась также сила тока статора и ротора двигателя. В результате анализа данных эксперимента сформулированы рекомендации, заключающиеся, в частности, в использовании тормозных генераторов и гидравлического привода.

На заводе "Криворожсталь" были проведены натурные исследования вагон-весов для загрузки доменных печей. Установлено существенное расхождение экспериментальных данных с расчетными, полученными по методике Днепропетровского филиала Гипромеза из-за упрощенности расчетной схемы динамической системы механизма передвижения и использования не проверенных практикой коэффициентов трения. Результаты эксперимента свидетельствовали о необходимости тщательной проработки всех вопросов при теоретическом исследовании динамики машин.

Проведенный на блюминге "950" Завода им. Дзержинского эксперимент подтвердил большое влияние зазоров на нагрузки в главной линии. С целью повышения точности экспериментальных исследований в Институте черной металлургии АН Украины были разработаны электронные измерители скорости и перемещения, обладающие высокой чувствительностью и линейной характеристикой. Основным узлом схемы нового измерителя скорости является преобразователь частоты импульсов в напряжении постоянного тока.

Для определения действительных нагрузок в главной линии были проведены экспериментальные исследования универсального стана Завода им. Дзержинского. Для этого использовались крутильные динамометры собственной конструкции и токосъемники из медных шин, охватывающих вал, и натянутых при помощи пружин стальных проводов. Экспериментально установлены рассогласование окружных скоростей валков и срывы заготовки, являющиеся источником динамических перенапряжений. Выявлено крайне неравномерное распределение нагрузки между шпинделями валков.

В отделе механизации и автоматизации металлургического оборудования ИЧМ АН Украины разработан и испытан автоматический индикатор положения плунжера с дистанционной передачей информации посредством бесконтактных индукционных датчиков.

При исследовании режима работы подающего аппарата пилгерстана установлено, что пневмогидравлическая система работает с повышенными скоростями. Измерены усилия извлечения дорна из гильзы. Данные эксперимента сопоставлены с аналитическим расчетом. Сделаны выводы о причинах недостижения станом проектной производительности.

Исследование работы механизмов привода клетки и двух вариантов привода валков стана ХПТ-56 показало, что после улучшения схемы зацепления валков и исключения статической неопределенности удалось снизить нагруженность в системе. За счет этого повышена производительность и на 400 кг уменьшена масса клетки.

Были проведены экспериментальные исследования механизмов транспортирования агломерата доменной печи, позволившие определить характер их динамической нагруженности.

Для определения амплитуд колебаний отдельных масс грохота и напряжений изгиба в резонирующих колосниках были осуществлены соответствующие экспериментальные исследования на заводе "Криворожсталь", использовались тензодатчики, а также вибрационные и индуктивные датчики.

Обширные исследования выполнены по анализу работы нажимных устройств с гидравлическим, грузовым и пружинным уравниванием в обжимных станах Днепропетровского, Мариупольского и Енакиевского металлургических заводов. Определялись нагрузки на электродвигатели, запаздывание в движении нажимных устройств и возможность работы в форсированном режиме.

Здесь отражена только небольшая часть экспериментальных исследований прокатного и горного оборудования, выполненных с участием и под руководством С.Н. Кожевникова в днепропетровский период его деятельности. Результаты этих исследований использовались для отработки математических моделей металлургических и горных машин, а также для проведения их модернизации, что дало особенно ощутимый эффект применительно к агрегатам трубопрокатного производства.

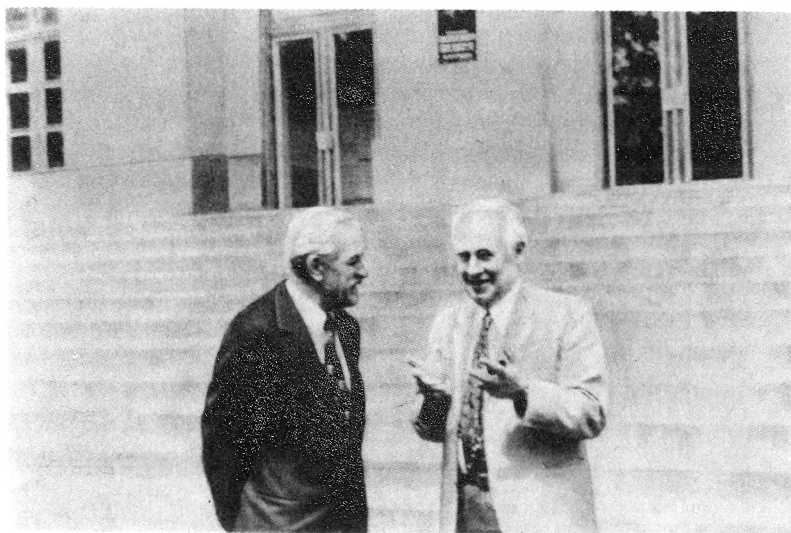
После переезда в Киев Сергей Николаевич вновь включился в исследовательскую работу, в том числе в экспериментальную. Мы упомянем фамилии только ответственных исполнителей, которые под руководством С.Н. Кожевникова проводили те или иные связанные с экспериментом, его анализом и выводами работы. Еще раз отметим, что большой объем работ выполнен С.Н. Кожевниковым и его учениками в Украинской сельскохозяйственной академии по определению фактической динамической нагруженности сельскохозяйственных машин – свеклоуборочных комбайнов КСТ-3 и корнеуборочной машины РКС-6 (Н.П. Барабан, Н.С. Яковлев, А.И. Алиджанов), само-

ходного и прицепного кукурузоуборочных комбайнов "Херсонце-200" и "Херсонце-6" (А.И. Ткачук, О.И. Литвинов), кормоуборочных машин (Э.С. Барган) и разработке мер по снижению динамических перегрузок.

Комплекс организационных, конструкторских и экспериментальных работ был выполнен по внедрению металло-резиновых муфт в свеклоуборочных комбайнах (Н.П. Барабан), ботвоуборочной машине, дождевальной установке (Н.Л. Вакуленко). В этих работах принимала участие кафедра технологии резины Днепропетровского химико-технологического института, разработавшая технологию надежного бесклевого крепления резины к стальным деталям. Муфты использовались как элементы, позволяющие исключить статическую неопределимость трансмиссий и валопроводов машин или понизить порядок этой неопределимости, т.е. уменьшить количество пассивных связей и тем самым повысить надежность. Кроме того, металло-резиновые муфты при правильном подборе их упругих и диссипативных характеристик служили гасителями колебательных процессов в механизмах, которые в сельскохозяйственных машинах обычно образовывали протяженные и разветвленные кинематические цепи с многочисленными возбудителями колебательных процессов и широким спектром собственных частот. Был разработан типаж металло-резиновых муфт, организовано изготовление их опытных образцов и проведено экспериментальное определение упругих характеристик (линейных, крутильных, изгибных) и соответствующих параметров рассеивания энергии при циклическом нагружении. Таким образом, была заложена основа для широкого внедрения металло-резиновых муфт. Экспериментальная проверка работы сельскохозяйственных машин с металло-резиновыми муфтами подтвердила их ожидавшуюся высокую эффективность.

Обстоятельное экспериментальное исследование работы модернизированного свеклоуборочного комбайна с гидроприводом рабочих органов от отдельных гидродвигателей по существу открыло перспективное направление решения проблем структуры, динамики и защиты от перегрузок сельскохозяйственных машин (Н.С. Яковлев).

Кроме того, С.Н. Кожевников со своим коллективом продолжал в Сельхозакадемии работы по экспериментальному исследованию металлургических машин: станов холодной прокатки труб, гидравлического трубопрофильного прессы усилием 3150 т (В.Ф. Ярошенко, И.А.-Г. Нурибеков, Ю.Г. Гранаткин, Е.Я. Антонюк), трубопрокатного агрегата "140" (В.Э. Летоपुर совместно с учениками С.Н. Кожевникова днепровской научной школы – А.С. Ткаченко, А.С. Малкиным и др.). Проводились также экспериментальные работы, значение которых носило общетехнический характер. Так, А.П. Погребняк выполнил цикл исследований зубчатых армированных металло-резиновых ремней, использование которых позволяло развязать статическую неопределимость системы и снизить интенсивность колебательных процессов. Для определения картины напряженного состояния в зубчатом ремне был проведен эксперимент с использованием оптически прозрачной рези-



**С.Н. Кожевников и А.Н. Боголюбов.  
Запорожье. 1976 г.**

ны. В результате исследований были установлены нормы точности для передач с зубчатыми армированными ремнями.

После перехода С.Н. Кожевникова на работу в Академию наук Украины (Киевский филиал Института геотехнической механики, а затем Институт механики) были проведены обширные экспериментальные исследования различных типов клиноремменных вариаторов сельскохозяйственных машин (А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко), для чего создан специальный стенд, формирующий натяжение в замкнутом контуре, что позволяло использовать для испытания двигатель относительно небольшой мощности. Были исследованы вариаторы различных типов, в том числе двухпоточный, обладающий статической неопределимостью, используемый в приводе ходовой части комбайнов. Последние исследования проводились совместно с Херсонским комбайновым заводом, выполнившим проектирование и изготовление статически определимого двухпоточного вариатора с дифференциальным механизмом. В результате повысилась тяговая способность вариатора, снизились нагрев и скольжение ремней, повысилась долговечность. По заказу Таганрогского комбайнового завода были экспериментально исследованы клиноремменные вариаторы зерновых комбайнов и даны заключения об их технических возможностях. Для этого были спроектированы и изготовлены специальные радиоканалы для бесконтактной передачи информации от места измерения к приборам регистрации (В.Э. Летоупр).

Ввиду того, что клиновые ремни для вариаторов имеют по длине ремня отклонения размеров поперечных сечений, при работе они возбуждают в системе колебательные процессы. Для выработки регла-

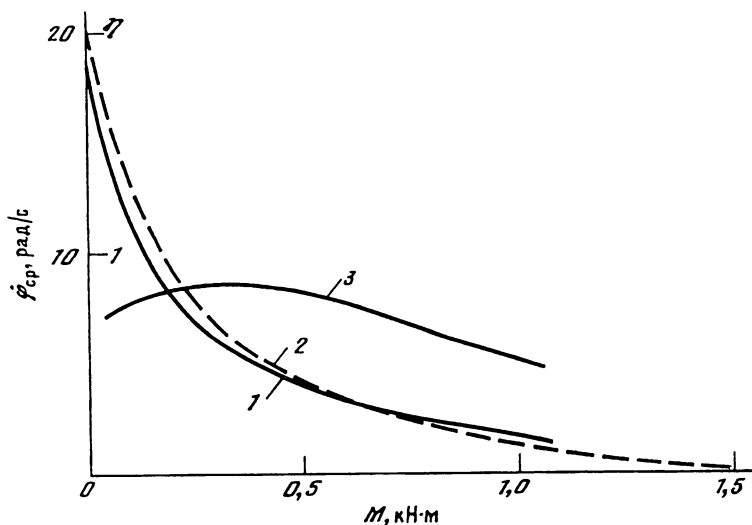


Рис. 17. Выходные характеристики инерционно-импульсного вариатора

ментации этих отклонений и сопоставления качества ремней, изготавливаемых различными заводами, в Институте механики АН Украины были проведены экспериментальные исследования погрешностей ремней отечественного и зарубежного производства и их долговечности при работе с номинальной нагрузкой (А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко, А.А. Голубенцев).

Сложный эксперимент был проведен В.Э. Летоपुरом на Черноморском судостроительном заводе по исследованию динамических процессов в инерционно-импульсном вариаторе скорости, предназначенном для использования в качестве палубного механизма. На рис. 17 изображены полученные теоретически (кривая 2) и в результате обработки экспериментальных данных (кривая 1) выходные характеристики инерционно-импульсного вариатора, отражающие зависимость средней угловой скорости  $\varphi_{\text{ср}}$  выходного звена от передаваемой нагрузки  $M$ . Здесь же (кривая 3) дана полученная экспериментально зависимость  $\eta$  механизма от нагрузки  $M$ .

По результатам теоретических и экспериментальных исследований клиноременных вариаторов был осуществлен ряд технических усовершенствований и получено несколько авторских свидетельств (С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко, Е.Я. Антонюк).

На основе богатого опыта проведения эксперимента и использования его результатов, в том числе для экстраполяции на новые виды и типоразмеры машин, С.Н. Кожевников пришел к выводу о том, что огромные материальные затраты, расходуемые на экспериментальные работы, должны давать существенно большую отдачу, чем это имеет место в настоящее время.

Он отмечал, что из-за отсутствия единых требований к методике проведения эксперимента и объему исходной и получаемой информации, как правило, не удается в полной мере распространить результаты конкретного эксперимента на другие однотипные машины. Это объясняется рядом причин, в том числе вероятностным характером нагрузок в машинах, а также случайным рассеиванием параметров для ансамбля машин одного типоразмера. Поэтому для исчерпывающего описания протекающих динамических процессов и их анализа необходимо накопление статистических данных, которые могут быть получены на базе значительного количества согласованных экспериментов, на основании которых будет создаваться и расширяться банк данных результатов экспериментальных исследований определенных категорий машин и оборудования. При этом должны быть полностью охарактеризованы условия проведения эксперимента и приведены значения всех параметров динамической системы машин и внешних возмущений, оказывающих влияние на динамическую нагруженность ее звеньев. Решение столь сложной проблемы целесообразно проводить в плане международного сотрудничества и не случайно, что инициатором проведения такой работы выступила комиссия "С" по сотрудничеству в области науки и промышленности Международной федерации по теории машин и механизмов (IFTOMM) и Международный симпозиум по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности (Донецк, 1974 г.).

Сергей Николаевич в течение многих лет был членом упомянутой комиссии Международной федерации и председателем оргкомитета Симпозиума. Фрагмент этой проблемы был включен в план работ Научного совета по теории машин и систем машин АН СССР в формулировке "Унификация методов экспериментального исследования металлургических горных и сельскохозяйственных машин" и выполнен под руководством С.Н. Кожевникова в Институте механики АН Украины в 1979–1981 гг. В постановочной части было отмечено, что "решение такой задачи требует, с одной стороны, использования унифицированных методов и средств экспериментального исследования машин, обеспечивающих получение достоверных и сопоставимых для определенного класса машин экспериментальных данных, а с другой стороны – построения корректных динамических моделей машинных агрегатов, учитывающих наиболее существенные факторы, от которых зависят динамические нагрузки".

Такое сочетание теории и эксперимента весьма важно, так как во многих случаях гипотезы о структуре моделей неполностью или неверно отражают их свойства, а эксперимент не отвечает принятой модели. Соответственно при выполнении темы была выполнена классификация динамических систем машинных агрегатов и сил, действующих на звенья машин, и разработан ряд новых типовых структурных элементов моделей динамических систем машинных агрегатов, например математическая модель группы звеньев, формирующей дифференциальный узел. В числе рассматриваемых сил фигурировали

технологические нагрузки, определяемые воздействием орудия (инструмента) на обрабатываемый продукт; гравитационные и инерционные нагрузки, возникающие при неравномерном движении звеньев или криволинейной траектории их центра масс; нагрузки, связанные с присоединением или отделением масс; ударные нагрузки; гидравлические сопротивления сжимаемой жидкости и др. Отмечались основные причины, из-за которых часто бывает сложно воспользоваться результатами публикуемого эксперимента: не всегда приводятся параметры исследуемых машин (массы, жесткости, характеристики нелинейностей, данные об электрических и гидравлических системах двигателей и их систем управления, масса, температура и геометрические размеры заготовки и т.д.); не всегда точны представления о физике протекающих процессов или отсутствует информация о текущей динамической структуре.

Неполнота информации во многих случаях обусловлена упрощенной до предела математической моделью, как происходит, например, при замене многомассовой системы двух- или трехмассовой, игнорированием других существенных свойств реальной машины. Так, обычно технологический момент прокатки на валках отождествляют с моментом сил упругости вала (шпинделя) привода вала, чем вносится существенная ошибка, так как не учитывается момент сил инерции вала. Весьма важны сведения о разрывах фрикционных связей, об изменении структуры системы, например, при раскрытии зазоров или захвате валками прокатываемой заготовки.

Было отмечено, что построение схем измерения параметров машин должно включать этапы разработки модели, отражающей основные свойства исследуемой машины, выбор минимального количества параметров системы, позволяющий осуществить сопоставление и идентификацию результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также выбор мест возможной установки измерительных элементов.

Работа завершилась созданием схем измерения параметров некоторых видов металлургических и горных машин, в том числе блюмингов, слябингов, листовых станов. Важность унифицированных методов экспериментального исследования особенно велика для тяжелых горных и металлургических машин, являющихся в большинстве случаев уникальными, вследствие чего исключается создание опытных партий или даже двух одинаковых экземпляров, а широкое проведение стендовых и других видов испытаний практически невозможно. В этих случаях только унифицированные методы экспериментального исследования позволяют накопить необходимые данные и решить ряд практически важных задач, в том числе прогнозировать показатели надежности вновь создаваемого оборудования.

Создавать современные машины с высокими технико-экономическими показателями можно только в тех случаях, когда сочетаются аналитические и экспериментальные методы исследования, дополняющие друг друга.



## Структурный анализ и синтез механизмов

Исследования в области структуры механизмов были приоритетными для С.Н. Кожевникова. Он посвятил им значительное количество работ и завершил этот цикл изданием монографии "Основания структурного синтеза механизмов". Помимо задач чисто теоретического характера ему были близки связанные со структурой вопросы нагруженности машин и, как следствие, их надежности. Кожевников писал: "Возможности повышения надежности и долговечности машин, в том числе и сельскохозяйственных, видят, как правило, частично в решении проблем износа, изучении его механизма, также выборе материала соответствующих пар трения и методов его упрочнения. Главным же образом эти возможности видят в использовании высокопрочных материалов, надежно работающих при переменных и ударных нагрузках. Практика эксплуатации машин свидетельствует о том, что этого недостаточно. Более детальный анализ причин аварий и усиленного износа узлов трения показывает, что имеются налицо другие возможности повышения надежности и долговечности, которые до сих пор остаются почему-то вне поля зрения конструкторов и эксплуатационников. Использование этих возможностей позволит в различные сроки и при различном уровне затрат на модернизацию и усовершенствование машин резко увеличить надежность и долговечность машин"\*.

К таким вопросам Кожевников относил вопросы правильного структурного построения механизмов, т.е. реализации их статической определенности как пространственных систем, независимо от того, плоскими или пространственными они являются с точки зрения кинематики.

Задачи структурного анализа и синтеза механизмов были предметом усиленного исследования математиков, механиков, машиноведов на протяжении всей истории механики машин. У истоков их решения стояли Л. Эйлер, высказавший еще в 1753 г. первые идеи о динамическом подходе к изучению машины, ее членении по функциональному признаку, а также Г. Монж, сформулировавший в 1786 г. принцип

\* Кожевников С.Н. Основание структурного синтеза механизмов. Киев: Наук. думка, 1979.

преобразования движений и тем самым выявивший кинематическую сущность машины. Эти идеи основоположников науки о машинах получили развитие в XVIII–XIX вв. в трудах Ж. Ашетта, Ж. Кристиана, Дж. Борнии, Ж.-В. Понселе, Х.М. Ланца, А.А. Бетанкура. Само понятие механизма разрабатывали Р. Виллис, У. Фейрберн, В. Ранкин, К. Джулио, Ш. Лабуле, Ж. Бур, а также Ф. Рело, давший (в 1875 г.) определение механизма на основе понятия кинематической цепи и сводимое к теории кинематических пар. Понятие связи сформулировал (в 1795 г.) Ж. Фурье, а затем уточнил М.В. Остроградский. Эти результаты обобщили П.О. Сомов (1887), Х.И. Гохман (1890), Г. Кенигс (1897) в своих работах по теории кинематических пар: Сомов принял в основу структурного анализа механизмов критерий – число степеней свободы, Гохман, Кенигс систематизировали кинематические пары по числу наложенных на них связей.

Одну из важнейших задач структурного анализа механизмов – задачу о существовании механизма – первым поставил П.Л. Чебышев. В работе "О параллелограммах" (1869) он привел математическое выражение условия принужденного движения (плоских) механизмов (с одной степенью свободы)

$$3m - 2(n + v) = 1,$$

где  $m$  – число подвижных звеньев, образующих механизм,  $n$ ,  $v$  – число шарниров, связывающих соответственно по два подвижных звена и одно подвижное звено с закрепленным звеном (неподвижной плоскостью). Над созданием структурной формулы для цепей с нулевой степенью подвижности работали Дж. Сильвестер, О. Мор, М. Леви. В 1883 г. М. Грюблер повторил решение Чебышева в более общей форме, введя в него число  $n_i$  – парных звеньев

$$\sum n_i - 3m + 4 = 0.$$

Теорию структурного анализа разрабатывали в последней четверти XIX в. также П.О. Сомов, Х.И. Гохман, И. Таубелес, Т. Риттерсхаус. Однако решение вопросов структуры механизмов оказалось настолько трудным, что несмотря на многочисленность поисков к концу XIX в. созданной выявилась лишь теория кинематических пар и цепей. Увязать вопросы структуры и классификации механизмов машиноведы еще не могли, не были выяснены даже принципы структурной классификации. Заслуга построения последней принадлежит отечественным ученым.

В 1914–1918 гг. Л.В. Ассур предложил принципиально новую классификацию плоских механизмов, сведя их к наслоению специально построенных шарнирных кинематических цепей на уже существующие механизмы и доказав принужденность таких наслоений, т.е. единственность решений. Высказанные Асуром идеи легли в основу дальнейших исследований: началось их обобщение на случай сферических и пространственных механизмов, составление общей классификации, кото-

рая позволила бы объединить все созданные ранее механизмы и объяснить принципы построения новых.

Начало этим исследованиям положил А.П. Малышев. Он провел их, исходя из роли условий связи в механизмах, обобщил (в 1923 г.) структурную формулу в виде

$$6(n-1) = 5m_5 + 4m_4 + 3m_3 + 2m_2 + m_1 + 1,$$

(где  $n$  – число всех звеньев пространственного механизма с одной степенью свободы,  $m_5, m_4, m_3, \dots$  – числа кинематических пар V, IV, III, ... класса) и одним из первых поставил вопрос о взаимосвязи структуры и синтеза механизмов.

Единую структурную и классификационную теорию исследования плоских и пространственных механизмов создали И.И. Артоболевский (1939) и В.В. Добровольский (1943). Они предложили систематизировать механизмы по числу и характеру общих связей, которые налагаются на механизм, вывели общую структурную формулу

$$W = mn - \sum_{k=1}^{k=m-1} (m-k)p_k.$$

Здесь  $W$  – число степеней свободы механизма,  $n$  – число подвижных звеньев механизма,  $m$  – число степеней свободы звеньев в свободном состоянии,  $k$  – род кинематической пары,  $p_k$  – соответствующее число пар. В основу предложенной Артоболевским классификации был положен метод развития контура, при этом лишние (избыточные, пассивные) связи, как не влияющие на кинематику механизма, в систему введены не были. В дальнейшем вопросами кинематических пар и пассивными связями в механизмах занимался Л.Н. Решетов.

На Украине до С.Н. Кожевникова вопросами структурного анализа и синтеза механизмов занимались Х.И. Гохман и Н.С. Васильев, представители одесской школы прикладной механики машин. Х.И. Гохманом была предложена (в 1890 г.) структурная формула механизмов, названная им "уравнением подвижности и определенности кинематического организма"; Н.С. Васильев исследовал (в 1929–1941 гг.) вопросы переводимости структурных формул механизмов, построения замкнутых кинематических цепей с произвольным числом степеней свободы.

Таким оказался задел в области структуры механизмов, когда ее вопросами стал заниматься С.Н. Кожевников.

Первые структурные идеи Кожевников высказал еще в 1937 г., когда им как результат собственных исследований в этом направлении и творческого обмена опытом с преподавателями кафедры прикладной механики Московского авиационного института был подготовлен и прочитан в Московском институте повышения квалификации инженеров новый курс по структурному, кинематическому и кинетостатическому анализу плоских механизмов. Новизна курса состояла в том, что Кожевников, как и Артоболевский, одним из первых (после

Л.В. Ассура) обратил внимание на необходимость создания единой (в соответствии со структурой и классификацией) методики расчета механизмов. В отличие от многих курсов по теории механизмов тех лет здесь излагались общие методы кинематики в применении к конкретным механизмам, тогда как обычно основное внимание уделялось частным механизмам, а общие методы игнорировались. В работе рассматривались не только механизмы, образованные наложением двухповодковых групп, но и более сложные, в состав которых входят и трехповодковые группы.

Дальнейшее развитие классификационных идей можно найти в учебнике С.Н. Кожевникова "Теория механизмов и машин" (1949), где изложены классификации Л.В. Ассура и Г.Г. Баранова, а также в изданном совместно с учениками Я.И. Есипенко, Я.М. Раскиным справочнике "Элементы механизмов", в котором описаны более 2500 механизмов и их элементов, классифицированных по функциональному признаку. Интересной оказалась и высказанная Кожевниковым мысль о целесообразности классификации с выделением в отдельные группы механизмов, объединяемых общими методами структурного, кинематического и динамического анализов. К первой группе Кожевников относил механизмы с одними твердыми и гибкими нерастяжимыми телами в качестве звеньев, движение которых можно исследовать, используя законы теоретической механики; ко второй – 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; к третьей – гидравлические и пневматические механизмы, движение ведомых звеньев в которых можно исследовать методами гидродинамики сжимаемой и несжимаемой жидкости. В предложенной Кожевниковым классификации отразилась тенденция к расширению границ применимости теории механизмов и машин за пределами ее классических методов.

Научный интерес к исследованию структуры механизмов возродился у С.Н. Кожевникова в 50-х годах, когда им совместно с Л.И. Цехновичем была открыта одна из разновидностей механизмов, структура которых не охватывалась принятой классификацией, т.е. было невозможно разложить структурную цепь на ассуровы группы. Это были механизмы с так называемым заданным относительным движением звеньев, у которых двигатель размещался на подвижных звеньях, т.е. ведущее звено не было связано с неподвижной стойкой. Следует отметить, что такие механизмы широко используются в современном машиностроении, например, в роботах, шагающих экскаваторах, гидравлических машинах с качающимся цилиндром.

К глубоким исследованиям в области структуры С.Н. Кожевников приступил в начале 70-х годов, что было вызвано высокими требованиями к надежности современных машин. Это нашло отражение в работах "Исследование металло-резиновых зубчатых муфт" (1974), "Структура механизмов на подвижном деформируемом основании"

(1976), "О влиянии структуры механизмов на динамические нагрузки в их звеньях" (1977), "О пространственных группах наслоения" (1977), "Дополнительные нагрузки в свеклоуборочных комбайнах, связанные с деформацией основания" (1978).

В данном случае исследования структуры не были подчинены исключительно задачам определения подвижности или проведения кинематического или кинетостатического анализа. Основная направленность была связана с тем, что структура кинематических цепей, синтезированных без должного внимания, может отрицательно сказаться на надежности. Это происходит в тех случаях, когда кинематические цепи механизмов являются статически неопределимыми, т.е. содержат повторяющиеся (избыточные, лишние, пассивные) связи, накладывающие ограничения на относительное или абсолютное движение. В механизмах с такими связями при работе возникает дополнительное силовое натяжение в определенных контурах звеньев, причем величина этого натяжения может не зависеть от передаваемой технологической нагрузки, т.е. быть одинаковой как на холостом ходу, так и под нагрузкой. Для снижения негативных последствий наличия пассивных связей можно повышать точность изготовления и жесткость узлов и деталей, однако полностью исключить эти последствия практически невозможно.

Радикальный путь решения проблемы заключается в создании и использовании статически определимых механизмов, в которых отсутствуют избыточные связи. Правильно построенный механизм будет непринужденно приспосабливаться к деформациям основания и звеньев и будет нечувствительным к погрешностям изготовления и сборки, которые всегда имеют место. Значение этих свойств особенно велико для современных машин, работающих в условиях высоких удельных нагрузок и скоростей. Вследствие реализуемых в конструкциях требований низкой материалоемкости у машин при работе происходит существенная деформация основания, рам и других элементов и звеньев, составляющих кинематическую цепь, что может вызвать защемления, износ и преждевременный выход из строя. Примером могут служить тяжелые сельскохозяйственные комбайны, которые в процессе движения перемещаются по неровному полю. Для подобных машин также характерен повышенный расход энергии и более низкая точность воспроизведения движения. С целью осуществления их сборки в некоторых случаях подвижные соединения выполняют с повышенными зазорами, что, однако, приводит к нежелательным динамическим процессам и снижению точности.

Вопросы устранения лишних связей в механизмах решались в работах О.Г. Озола, Л.Н. Решетова, И.П. Спорыша и других и исследователей\*. Обобщение и логическое завершение этих и других работ

\* См.: *Озол О.Г.* Опыт построения схемы общей классификации механизмов // Тр. Латв. сельскохозяйственной академии. 1962. Вып. II. С. 95–112; *Решетов Л.Н.* Конструирование рациональных механизмов. М.: Машиностроение. 1972; *Спорыш И.П.* Надежность механизмов систем автоматического регулирования. М.: Машиностроение, 1967.

получило в монографии С.Н. Кожевникова "Основание структурного синтеза механизмов", в которой даны строгие научные определения основных понятий, выполнена оценка различных классификаций, используемых в современной практике, предложен метод структурного синтеза механизмов. Введены в практику цифровые структурные формулы, характеризующие структурную группу или цепь и облегчающие проведение исследований.

Недостатки существующих классификаций механизмов Кожевников видит в том, что различие их строения зависит от того, какое звено или звенья приняты в качестве ведущих, хотя топологически механизмы совершенно идентичны. Причиной такого положения является анахронизм, связанный с использованием графических методов кинематического и кинетостатического анализа механизма, для выполнения которых необходимо знание скоростей и ускорений ведущего звена. Современные аналитические исследования механизма позволяют установить и использовать математически описанную в неявном виде связь между кинематическими параметрами звеньев. Таким образом, отпадает необходимость сохранения зависимости строения механизма от того или иного входного звена, а для описания его кинематических характеристик целесообразно использовать простейшее из возможных строений. Это тем более необходимо осуществить, так как в принятые классификации не укладываются механизмы с заданным относительным движением зубьев, у которых двигатель располагается между двумя подвижными звеньями, а не между неподвижной стойкой и звеном. Эти механизмы невозможно разложить на ассуровы группы и их кинематический и кинетостатический анализ также не укладывается в рамки методик традиционного исследования кинематики и кинетостатики механизмов. Еще один недостаток существующих классификаций заключается в том, что они распространяются на плоские механизмы.

В монографии "Основание структурного синтеза механизмов" Кожевников осуществил разбор всех элементов, определяющих структуру и строение механизмов, начиная от понятия звена, кинематической пары и кончая понятием структурной группы. Он считает необходимым исключить из научного обращения такие искусственные понятия, как жидкие, газообразные, электрические, электронные и т.п. звенья, заменив их понятиями стационарных и нестационарных связей как отвечающих физической сущности систем. В то же время задачи, связанные с определением реакций в кинематических парах, требуют отказа от представления о звеньях как недеформируемых твердых телах. Гибкие и упругие звенья можно рассматривать как нестационарные, в данном случае динамические связи, что позволяет построить более стройные системы динамических процессов. Соответственно целесообразно использовать понятия структурных и параметрических степеней свободы: первые характеризуют основные движения механизма, определяемые из условия недеформируемости звеньев, а вторые – дополнительные малые движения, связанные с их деформацией.

Используя идею Л.В. Ассура об образовании плоских статически

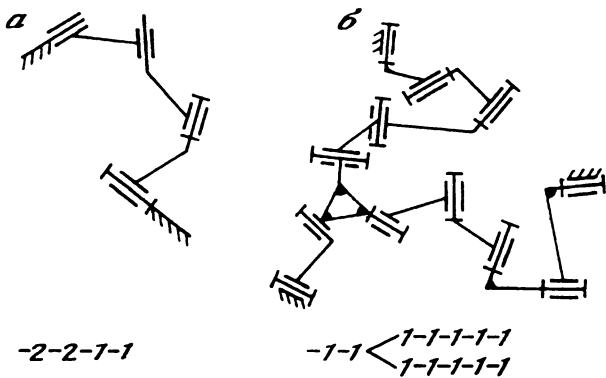
определимых групп, Кожевников сформулировал требование к группам звеньев, определяющим строение данного механизма как пространственной системы. Оно заключается в кинематической и статической определимости. При этом механизм будет удовлетворять условиям непринужденной сборки и обладать индифферентностью к деформации основания или отдельных в него входящих звеньев. Каждая из групп представляет ферму неизменяемой конфигурации, если группа присоединяется к жесткому основанию, и изменяемой конфигурации, если присоединяется к подвижной системе звеньев. Для построения статически определимых групп Кожевников использует структурный эквивалент кинематической пары, состоящий из одного или цепи звеньев, вносящих то же число связей, что и исключаемая из цепи кинематическая пара. Это позволяет получить из простейшей однозначной группы статически определимую цепь любой сложности – рядную, разветвленную или включающую замкнутые контуры. При этом становится возможным отказаться от таких искусственных приемов, как развитие поводка в плоской системе звеньев и разложение шарнира, предложенных В.В. Добровольским, или перебора всех возможных комбинаций двух-четырёхшарнирных звеньев, как предложено Г.Г. Барановым, которые не отражают важных структурных свойств групп.

Введены структурные эквиваленты кинематических пар. Для получения различных статически определимых групп с нулевой подвижностью Кожевников использует эволюцию монад различной модификации. Естественно, что при развитии цепей может произойти вырождение с появлением статической неопределимости, что требует проверки. В сложных случаях, когда проверка статической определимости цепей затруднительна, Кожевников указывает на изложенный в работах Ю.Ф. Морошкина\* метод выявления тождественных уравнений связей на основе функционального определителя или якобиана. Метод имеет строгое математическое обоснование и позволяет получить ответ о наличии или отсутствии повторяющихся (пассивных) связей.

На рис. 18 даны структурные статически определимые группы, полученные на основе развития простейших нуль-цепей. В формулах, приведенных для простой и разветвленной цепей, цифровое обозначение соответствует роду кинематической пары (определяющему ее подвижность), а черточка или геометрическая фигура – соответствующему звену группы. Структурный анализ и синтез в обязательном порядке проводится для пространственных систем даже в том случае, если, с точки зрения кинематики, механизм рассматривается как плоский, т.е. когда траектории любых его точек принимаются лежащими в параллельных плоскостях. Это соответствует тому факту, что в

---

\* См.: *Морошкин Ю.Ф.* Определение конфигураций механизмов // ДАН. 1952. 82, № 4; *Морошкин Ю.Ф.* Основы аналитической теории механизмов // Тр. СТММ. 1954. Т. XIV. Вып. 54.



**Рис. 18. Статически определяемые нуль-группы простой (а) и разветвленной (б) цепей**

подобном "плоском" механизме система реакций тем не менее является пространственной.

Представляет интерес ознакомиться с некоторыми статически неопределимыми механизмами, для которых с участием С.Н. Коженикова разработаны меры по устранению лишних связей (рис. 19).

На рис. 19,а изображена кинематическая схема механизма главного привода серийно выпускаемого стана холодной прокатки труб. Механизм имеет большое количество лишних связей. Движение клетки 4 через шатуны 3 и 3' сообщается от сдвоенной зубчатой передачи, в результате чего образуются два статически неопределимых контура, состоящих из спаренной зубчатой передачи с валами 1 и 2 и спаренных кривошипно-ползунных механизмов с шатунами 3 и 3' (см. также рис. 14). В механизме имеется 20 лишних связей, причем 13 из них приходится на контур, состоящий из валов 1 и 2, двух зубчатых передач и четырех одноподвижных шарниров, соединяющих валы со станиной.

Десять лишних связей вносят два повторяющихся шарнира каждого из валов и три – два параллельных (с одинаковым передаточным отношением) зубчатых зацепления, если рассматривать зацепления как линейчатые пары. Семь лишних связей имеются в контуре параллельных кривошипно-ползунных механизмов. Так, в одноконтурной цепи кривошипно-ползунного механизма, содержащего звенья 2 (кривошип), 3 (шатун), 4 (ползун) и неподвижную стойку имеются три повторяющиеся условия связи. Наличие этих связей легко выявить, если разомкнуть кинематическую цепь по поступательной паре, формируемой стойкой и ползуном. В такой цепи имеются три связи, препятствующие поворотам клетки относительно осей  $y$  и  $z$ , а также ее перемещению вдоль оси  $x$ . Эти же связи повторяются при замыкании рассматриваемой одноконтурной кинематической цепи поступательной парой, т.е. являются лишними. При образовании второй параллельной цепи кривошипно-ползунного механизма с введением шатуна 3 и двух



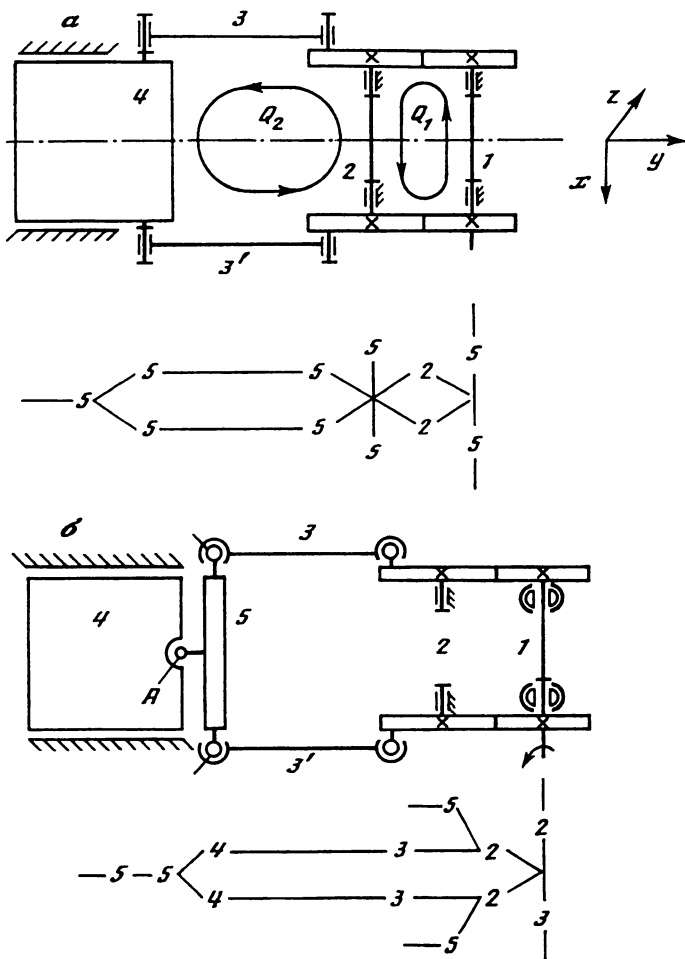


Рис. 19. Схемы главного привода стана ХПТ

*а* – статически неопределимого, *б* – статически определимого

кинематических пар первого рода вносятся еще четыре повторяющиеся условия связи: три из них аналогичны описанным выше и еще одно, ввиду того что повторяется значение координаты  $y$  ползуна 4, сформированной первой цепью механизма.

В таком статически неопределимом механизме в отмеченных двух замкнутых контурах возникают пассивные натяжения  $Q_1$  и  $Q_2$ , обусловленные погрешностями изготовления и сборки: непараллельностью осей кинематических пар и непараллельностью этих осей горизонтальной и перпендикулярностью вертикальной плоскостям направляющих ползуна, различием в длинах шатунов 3 и 3' и кривошипов,

наличием относительного углового смещения кривошипов и зубьев соответствующих колес на каждом из валов и т.д.

Схема статически определимого механизма дана на рис. 19,б. Введено дополнительное уравнильное звено 5, соединяемое с клетью (посредством шарнира *A*) шатунами 3 и 3'. Вал 2 выполнен разрезным, а цилиндрические шарниры, соединяющие шатуны с клетью и зубчатыми колесами, заменены двух- и трехподвижными сферическими шарнирами. В последнем варианте сохранились две лишние связи в зацеплениях цилиндрических колес, которые являются пассивными при линейчатом контакте в зацеплении, либо выпадают при вырождении линейчатого зацепления в точечное (за счет придания зубьям бочкообразной формы на одном из колес в каждой зубчатой передаче). На рис. 19а,б даны цифровые структурные формулы, соответствующие механизмам – исходному и с исправленной структурой.

Еще один пример статически неопределимого механизма и его исправленная модификация даны на рис. 20 на примере двухпоточного клиноременного вариатора скорости. В исходном механизме движение от входного вала к выходному передается двумя клиновыми ремнями 1 и 2, взаимодействующими с регулируемыми шкивами 3, 4 и 5, 6. В данном случае статическая неопределимость обусловлена повторяющейся фрикционной связью ввиду наличия двух одинаковых клиноременных передач между одними и теми же валами. Из-за реальных погрешностей изготовления передач, т.е. различия длин и меняющихся по длине размеров поперечных сечений ремней, неточности изготовления рабочих поверхностей шкивов в реальном вариаторе, передаточные отношения каждой ветви будут неодинаковыми и передаваемая нагрузка распределяется неравномерно между ремнями. В замкнутом контуре, образованном ремнями 1 и 2 и шкивами 3–6 возникнет пассивное натяжение  $Q$ , не связанное с передачей технологической нагрузки рабочему органу. В некоторых случаях возможны режимы, когда один из ведущих шкивов (3 или 4) фактически окажется ведомым, а ведомый – ведущим.

Для исключения избыточной связи, обусловленной наличием двух параллельных ветвей, и сохранения повышенной тяговой способности вариатора может быть введена дополнительная группа звеньев, вносящая в систему еще одну степень свободы. На рис. 20,б в качестве такой структурной группы использован дифференциал 7. В результате вариатор становится статически определимым и передаваемая нагрузка распределяется поровну между ветвями. Как показали экспериментальные исследования, в статически определимом вариаторе снизился шум, вибрации и нагрев ремней, повысилась долговечность.

Рассмотрим еще одно изложенное в монографии "Основание структурного синтеза механизмов" предложение по улучшению структуры механизма двухрядного упорного подшипника прошивного стана, с которым связано большинство отказов. Осевое усилие, действующее вдоль стержня, уравнивается реакцией со стороны двух последо-

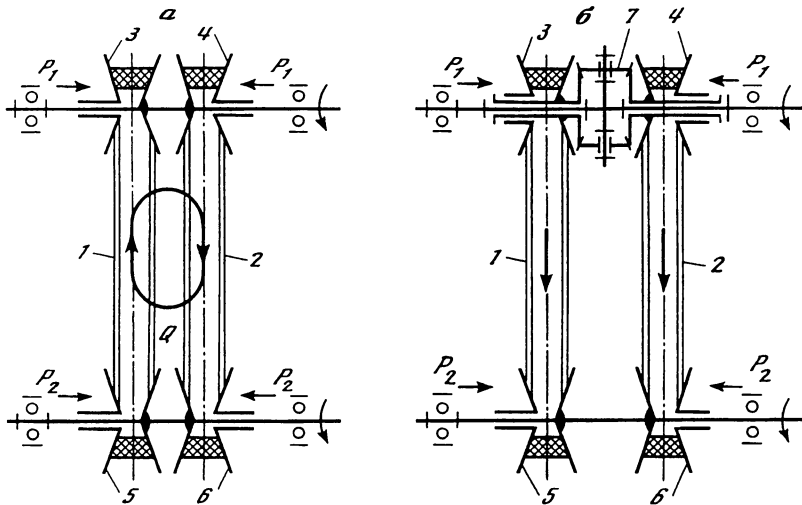


Рис. 20. Схемы клиноремненных вариаторов

*а* – с пассивными связями, *б* – без пассивных связей

вательно расположенных упорных подшипников. Из-за отклонений базовых размеров при изготовлении и монтаже, различия жесткости соответствующих элементов осевую нагрузку принципиально невозможно распределить поровну между подшипниками, так как система является статически неопределимой. В результате подшипники быстро изнашиваются и разрушаются, вызывая простои стана. Один из вариантов устранения указанного дефекта структуры показан на рис. 21; используется гидравлическая система, работающая по принципу сообщающихся сосудов. Воспринимающие осевое усилие  $P$  подшипники 1 и 2 опираются на кольцевые поршни 3, которые через резиновые диафрагмы 4 связаны с замкнутым объемом  $A$ , заполненным жидкостью. Поршни 3 осуществляют незначительные компенсационные перемещения в соответствии с величиной передаваемой нагрузки  $P$ , которая, ввиду одинакового давления жидкости в системе, распределяется поровну на каждый из опорных подшипников, обеспечивая соответствие базовых размеров  $Z_1$  и  $Z_2$ .

Описанные примеры наглядно иллюстрируют возможности и важность корректного структурообразования для современного машиностроения.

Идеи и методы, изложенные в упомянутой монографии С.Н. Кожевникова, развивались и широко пропагандировались им и его учениками, внедрялись в практику промышленных предприятий, конструкторских бюро, испытательных станций.

С.Н. Кожевников неоднократно выступал с лекциями по вопросам структуры на Никопольском южно-трубном, Днепротетровском и

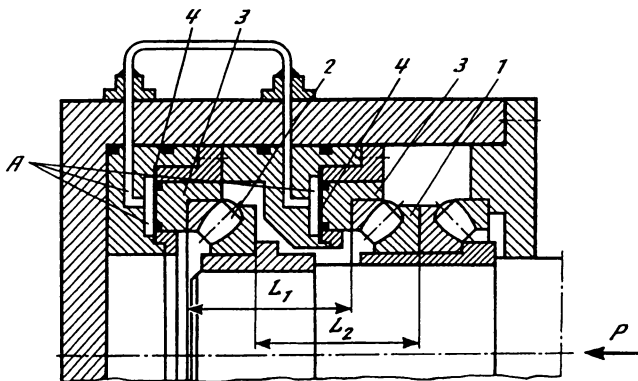


Рис. 21. Гидравлическое уравнильное устройство двухрядного упорного подшипника

Херсонском комбайновых заводах, в Украинской сельскохозяйственной академии, Казахском государственном университете, институте ВНИИМОЖ. Благодаря этому на Никопольском южно-трубном заводе механики цехов успешно использовали полученные знания в практической деятельности, выполняя самостоятельно структурный анализ и синтез механизмов эксплуатируемого оборудования и внося в период плановых ремонтов и реконструкции соответствующие усовершенствования. Этими же методами начали широко пользоваться в конструкторских бюро Херсонского и Днепропетровского комбайновых и Новокраматорского машиностроительного заводов при проектировании новых машин.

При участии С.Н. Кожевникова получено много авторских свидетельств СССР на изобретения, связанные с усовершенствованием металлургических, сельскохозяйственных и других машин.

В "Госкомсельхозтехнике" СССР разработан и внедрен отраслевой стандарт (ОСТ 70.2.31-80) по структурной оценке механизмов сельскохозяйственных машин, используемый испытательными станциями при проверке качеств новой техники. Таким образом, теоретические исследования по структуре механизмов с новых позиций получили практическое применение при модернизации оборудования с целью увеличения надежности и долговечности машин, а также при диагностике причин разрушения деталей машин или интенсивного износа пар трения. В результате внедрения в промышленность предложений по усовершенствованию структуры механизмов, сельскохозяйственных и других машин был получен значительный экономический эффект.

Профессор G. Ditrich (директор Института техники механизмов и динамики машин Рейнско-Вестфальского Ахенского технического института) писал по поводу книги С.Н. Кожевникова "Основание структурного синтеза механизмов": "Я восхищаюсь Вашей продуктивностью и могу Вас многократно поздравить с новой книгой, которая является установочным произведением по структурному синтезу".

## **Киевский период деятельности. Последние годы жизни**

После переезда в 1962 г. в Киев и перехода на работу в Киевский институт инженеров гражданской авиации (КИИГА) С.Н. Кожевников с присущей ему энергией и целеустремленностью продолжал научно-исследовательскую и педагогическую работу. Вокруг него быстро сформировался коллектив преподавателей и аспирантов, проявлявших нетривиальное отношение к методике преподавания теории машин и механизмов и большой интерес к развитию этой науки. Тематика научных исследований была по-прежнему весьма разнообразной: импульсные и инерционно-импульсные системы (А.А. Цымбалюк), динамика континуальных систем под воздействием переносного ускорения основания (Н.М. Долгов), динамика механизмов с заданным относительным движением звеньев (Е.Г. Кузовков), динамика летательных аппаратов при движении по случайной поверхности взлетно-посадочной полосы (Е.Я. Антонюк), биомеханика (И.М. Пряхин), динамика неустановившихся процессов в системах с электромагнитными и фрикционными муфтами (В.С. Манзий), движение систем с динамическими связями (В.И. Шурпа).

Сергей Николаевич возглавил в КИИГА кафедру теоретической механики и теории машин и механизмов. С его приходом здесь начал работать научный семинар, на котором заслушивались доклады сотрудников кафедры, проводились углубленные занятия по динамике машин и теории колебаний. В качестве вычислительного средства на кафедре использовалась электронная моделирующая установка ЭМУ-10, частично обеспечивавшая фронт теоретических разработок.

Не прекращались творческие связи с Днепропетровской научной школой, с которой С.Н. Кожевников продолжал ряд важных работ, в том числе по уравниванию металлургических машин, модернизации станов ХПТ, использованию гидравлических и пневматических механизмов, нелинейной механики машин. Успешному продвижению научных исследований способствовали частые взаимные контакты: командировки из Киева и Днепропетровска, переписка, переговоры.

В 1962 г. Сергей Николаевич организовал Киевский семинар по теории машин и механизмов, на котором заслушивались доклады о важнейших научных исследованиях не только Украины, но и других

республик. Семинар выносил рекомендации о включении тех или иных докладов в программы работы всесоюзных совещаний, а впоследствии и съездов по теории машин и механизмов, давал оценки различным научным работам, участвовал в разработке терминологии.

Несмотря на комфортные условия работы в одном из лучших вузов Украины и достигнутые успехи в деле развертывания исследовательской работы, С.Н. Кожевников чувствовал себя стесненным в возможностях дальнейшего расширения этой работы в силу определенных традиций, сложившихся в КИИГА. По соображениям творческого характера он принимает решение о переходе в 1968 г. в Украинскую сельскохозяйственную академию заведующим кафедрой сопротивления материалов. Вновь к Сергею Николаевичу пришли молодые аспиранты и соискатели (Н.П. Барабан, Ю.Г. Гранаткин, В.Ф. Ярошенко, Э.А. Яровая, Т.И. Омаров, Н.С. Яковлев, В.А. Акулинин, И.А.-Г. Нурибеков, А.И. Ткачук, И.А. Горковенко, Э.С. Барган, О.И. Литвинов, А.И. Алиджанов и др.). Наряду с функционировавшим Киевским семинаром по теории машин и механизмов начал работу и научный семинар на кафедре сопротивления материалов.

Научно-исследовательская работа проводилась в нескольких направлениях: по механике сельскохозяйственных и металлургических машин, динамике механизмов с заданным относительным движением звеньев, движению тел с распределенной массой и упругостью под действием ударного возбуждения, статистической динамике транспортных машин, фрикционным автоколебаниям, динамике упруго-инерционных систем на подвижном основании, структуре механизмов, динамике механизмов при срабатывании механических предохранительных устройств, динамике статически неопределимых механизмов.

Теоретические исследования дополнялись экспериментальными. Выше были подробно описаны работы, связанные с совершенствованием свеклоуборочных комбайнов КСТ-3 посредством улучшения структуры их кинематических цепей и снижения уровня колебательных процессов. Последнее было осуществлено за счет введения металло-резиновых муфт, обладающих демпфирующими способностями, и упрочения стереометрии трансмиссии при помощи использования гидравлического привода основных рабочих органов с расположением гидродвигателей в непосредственной близости от них. Гидрофикация комбайнов позволила реализовать надежную защиту механизмов от перегрузок посредством введения регулируемого предохранительного клапана, не возбуждавшего в системе колебательных процессов при срабатывании от перегрузок, как это имело место в серийных комбайнах, оснащенных кулачково-зубчатыми предохранительными муфтами. Гидрофикация свеклоуборочных комбайнов КСТ-3 и самоходной корнеуборочной машины КС-6, выполненная при активном участии Н.С. Яковлева, существенно опередила и предопределила аналогичные работы, проведенные позже специализированными институтами сельхозмашиностроения, обладавшими крупными производственными базами и большими материальными ресурсами.

Исследования металлургических машин, экспериментальные и теоретические, выполняемые на кафедре, были связаны со станами холодной прокатки труб (Е.Я. Антонюк, А.И. Ткачук) и гидравлическим трубопрофильным прессом усилием 3150 т, предназначенным для производства бесшовных труб из труднодеформируемых легированных сталей (В.Ф. Ярошенко, И.А.-Г. Нурибеков, Ю.Г. Гранаткин, Л.С. Палько). При анализе работы гидропресса были обнаружены конструктивные недостатки, а также многократная статическая неопределимость его механизмов, наличие гидравлических ударов в системе при наложении прямой и обратной волн, что послужило предпосылкой для разработки нескольких изобретений, защищенных авторскими свидетельствами.

В качестве альтернативного механизма подачи стана холодной прокатки труб был синтезирован кулачково-дифференциальный механизм с периодически стоящим ведомым звеном и выполнен его технический проект.

Были исследованы перспективы использования в сельхозмашиностроении зубчатых армированных ремней как гасителя колебательных процессов в системе и гибкого элемента для передачи движения между параллельными валами, который не вносит пассивных связей, снижающих долговечность. Эффективность использования ремней была подтверждена экспериментально работами А.П. Погребняка и О.И. Литвинова, в том числе на кукурузоуборочном комбайне "Херсонец-6".

В годы работы в Сельхозакадемии С.Н. Кожевников вновь вернулся к проблематике, связанной со структурой механизмов. Его интерес, в первую очередь, был вызван тем, что механизмы сельскохозяйственных машин часто являлись статически неопределимыми, вследствие чего имели пониженную надежность. Занимаясь в течение нескольких лет задачами рационального синтеза механизмов, Кожевников подготовил серию докладов, опубликовал ряд статей и завершил этот цикл исследований монографией "Основание структурного синтеза механизмов". В плане практических приложений теории им и его учениками был получен ряд авторских свидетельств по металлургическим и сельскохозяйственным машинам, в которых были реализованы идеи корректного структурообразования. Совместно с А.П. Погребняком, В.В. Коцюрубой, Э.С. Барганом и Е.Я. Антонюком Кожевников в 1980 г. подготовил отраслевой стандарт по структурному анализу, который применялся при диагностике отказов сельскохозяйственной техники. Впоследствии при участии А.И. Ткачука он разработал две методики структурного анализа и синтеза механизмов для сельскохозяйственных и металлургических машин, учитывающих их специфику. Были также исследованы динамические процессы в системах с избыточными фрикционными связями, претерпевающими при работе разрывы и восстановления с возникновением автоколебаний (И.А.-Г. Нурибеков).

В 1970 г. С.Н. Кожевников возглавляет Сектор механики машин и входящий в него отдел теории машин и механизмов – Киевский филиал

Днепропетровского института геотехнической механики АН Украины.

Второй отдел этого сектора – динамики и устойчивости движения возглавлял Александр Николаевич Голубенцев (1916–1971), с которым Сергея Николаевича связывали прочные научные и дружеские отношения. У Голубенцева было крайне трудное детство, но энергия и неродинарные способности позволили ему преодолеть многочисленные сложности и сформироваться в профессионала высокого уровня. В Кемерове он был главным механиком шахты, а затем треста "Кузбассуголь", позднее работал в Москве в правительственных учреждениях. Уже в зрелом возрасте он ушел в науку, стал доктором технических наук. Некоторое время был заместителем директора Института механики АН Украины, являлся активным проводником идеи широкого внедрения цифровых ЭВМ в практику научных исследований. Известен в научном мире основополагающими работами в области механики, в том числе монографиями "Обобщенный вход в динамику", "Динамика переходных процессов в машинах со многими массами" и "Интегральные методы в динамике", успешно занимался исследованиями в области оптимизации.

Будучи человеком разносторонним, А.Н. Голубенцев успевал заниматься вопросами истории науки, в также научными проблемами, далекими от основной деятельности. Так, им была написана монография "Термодинамика процессов производства", в которой он привнес в экономическую математические методы исследования, помогающие получить строгие результаты и раскрыть некоторые неясные места в этой науке. В монографии давалась нетрадиционная трактовка отдельных экономических положений, что вызвало известное замешательство в высших партийных структурах Украины. Был крайне принципиален по отношению к занимаемым научным позициям и перспективам развития научных направлений, что часто приводило к жарким спорам с С.Н. Кожевниковым, который также убедительно и эмоционально отстаивал свои воззрения на ход научного прогресса в области механики машин. Однако у этих двух замечательных ученых было больше общего, чем отличного, и они испытывали друг к другу искреннее уважение и расположение.

Тематика исследований в Секторе механики машин сохранилась, это – динамика металлургических, горных и сельскохозяйственных машин. В это же время С.Н. Кожевникова вновь привлекают проблемы биомеханики. Под его руководством и доктора биологических наук С.Ф. Манзия, В.И. Клыков успешно защитил кандидатскую диссертацию "Биомеханика локтевого сустава лошади". Исследования такого рода, кроме большого значения для биологии, например, понимания механизмов эволюции, играют существенную роль для создания новых технических средств наземного передвижения, в данном случае – шагающих устройств. Такой способ передвижения обладает высокой энергетической эффективностью и проходимостью, но его воплощение в реальном транспортном средстве возможно в результате объединения



усилий ученых и инженеров различных специальностей – биологов, механиков, специалистов по системам управления.

Другой аспект проблемы подобных биомеханических исследований связан с возможным распространением на технические устройства способов смазки, реализуемых в герметичных суставах живых организмов.

Цель, которая при этом ставится, заключается в снижении износа кинематических пар реальных механизмов, условия функционирования которых ухудшаются вследствие попадания в зону контакта посторонних, в том числе абразивных, частиц и высокого уровня трения. Совершенство "шарниров" живых организмов, обладающих высокой надежностью и долговечностью при работе в условиях резкого изменения нагрузок, позволяет рассчитывать на создание перспективных технических аналогов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что наибольшего совершенства локомоторный аппарат достиг у копытных и, в первую очередь, у однокопытной лошади. Это проявляется в быстроте и легкости бега, вездеходности, экономном расходовании мышечной энергии и во многом связано с особенностями строения суставов.

Было осуществлено исследование биомеханики суставов, геометрический анализ поверхностей сустава и хряща, расположенного между контактирующими поверхностями. Установлено, что при повороте в суставе характер и размеры сопротивления суставных поверхностей изменяются, причем возможно появление щелей. Существует минимальная и максимальная конгруэнтность суставных поверхностей и неравномерность толщины слоя суставного хряща, функционально связанные с величиной поворота. В определенной зоне имеется зазор между суставными поверхностями, который может быть частично или полностью выбран при соответствующем нагружении. Предложены аппроксимации сечений суставных поверхностей в сагиттальной плоскости. Полученные рентгеновские снимки концевых участков костей, входящих в суставы, показали, что существуют две зоны с четкой направленностью и повышенной плотностью распределения костного вещества и зона с меньшей плотностью и без заметной ориентации элементов костного вещества. Слой хряща, через который осуществляется передача нагрузки в суставе, имеет сложную геометрию, причем меняется не только толщина упругого слоя, но и кривизна его среднего слоя.

Аналитическое исследование подтвердило влияние изменения толщины слоя хряща в суставе на экстремальные значения напряжений при заданных внешних нагрузках.

Кроме этого, с помощью датчиков углов поворота и фиксации электрической активности мышц было проведено функциональное исследование локтевого сустава лошади во время отдыха и установлены характерные циклически повторяющиеся фазы полной разгрузки конечности с поворотом ее в суставе на угол  $\varphi$ , последующей постепенной загрузки конечности с изменением угла поворота в суставе на величину  $\varphi + \Delta\varphi$  и, наконец, частичной разгрузки с поворотом на угол

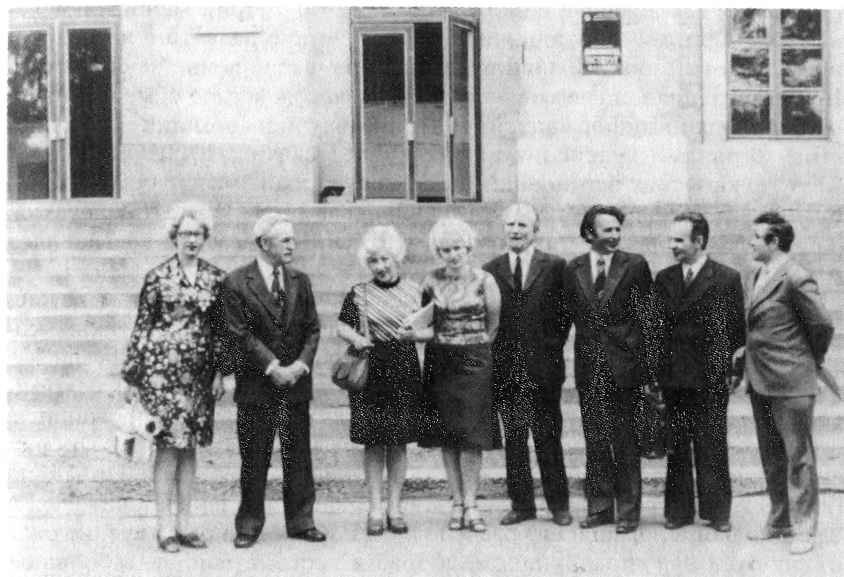
Δφ. Электромиограмма мышц, действующих на запястный сустав, показывает их высокую активность только в фазе постепенной загрузки конечности, тогда как в остальных они находятся в расслабленном состоянии.

Был проведен динамический анализ с составлением уравнений движения при некоторых допущениях. Кроме того, выполнены экспериментальные исследования нагруженности ноги лошади посредством ускоренной киносъемки и опорной динамометрии на дорожке с тензометрической площадкой, позволяющей измерять компоненты реакции, действующей на ногу лошади.

Исследования позволили уточнить представления о характере работы мышц и суставов при движении и покое. Во время переднего толчка в фазе опоры процесс разгибания в локтевом суставе продолжается с увеличением конгруэнтности соприкасающихся поверхностей, которая достигает максимума, когда реакция в суставе наибольшая. К концу заднего толчка в опорной фазе характерно уменьшение реакции до минимума и образование в суставе щели между соприкасающимися поверхностями. В фазе переноса конечности, следующей за задним толчком, она работает в режиме маятникового подвеса. К концу сгибания образовавшаяся в суставе щель заполняется синовиальной жидкостью, подготавливая сустав к выполнению очередного цикла нагружения. Смазывающая суставы синовиальная жидкость – полимерный раствор органического происхождения – по своим свойствам является неньютоновской, вязкость которой является функцией скорости сдвига, в данном случае снижаясь с увеличением скорости сдвига. В условиях нестационарного течения она может проявить себя как упругое тело и не выдавливаться из зоны контакта суставных поверхностей. Результаты работы расширили представления о биомеханике функционирования суставов при различных фазах движения, подтвердили необходимость и перспективность широкого использования для таких исследований методов математики, теоретической механики и теории машин и механизмов.

Несколько позже, уже после перехода на работу в Институт механики АН Украины, С.Н. Кожевников провел исследования в области протезов нижних конечностей человека. Интерес к этой работе, понимание ее гуманного значения, вероятно, в какой-то мере связаны с его учителем А.П. Малышевым, который был директором Томского протезного института и принимал участие в создании искусственных верхних конечностей. Кожевников выполнил вместе с сотрудниками ряд теоретических и экспериментальных исследований и получил несколько авторских свидетельств.

В 1978 г., в связи с упорядочением научных подразделений, Отдел теории машин и механизмов из Института геотехнической механики был переведен в Институт механики АН Украины, в котором С.Н. Кожевников проработал до конца жизни. Этот период, как и прежние, насыщен интенсивной работой и известен высокими результатами. Выполнены исследования в области динамики тяжело-



**С.Н. Кожевников с коллегами на Зональном совещании преподавателей Украины и Молдавии по методике преподавания теории машин и механизмов. Запорожье. 1976 г.**

нагруженных машин, динамики систем с переменной структурой, динамики механизмов на подвижном основании, унификации методов экспериментального исследования машин, тяжело нагруженных клиноременных вариаторов сельскохозяйственных машин, экспериментальных исследований надежности вариаторных ремней, моделирования динамических процессов в станах горячей прокатки труб и тяжелых гусеничных машинах.

Все эти годы С.Н. Кожевников поддерживал тесные связи с многими учеными и научными учреждениями России, Казахстана, Киргизии, Литвы. Особенно плодотворно было сотрудничество с Институтом машиноведения АН СССР, в частности с И.И. Артоболевским, К.В. Фроловым, А.П. Бессоновым, Н.И. Левитским; творческие научные контакты и дружеские отношения поддерживал в эти годы С.Н. Кожевников с У.А. Джолдасбековым, К.М. Рагульским, Х.Х. Усманходжаевым, О.Д. Алимовым, Л.Т. Дворниковым и другими видными отечественными учеными. Сергей Николаевич активно участвовал в подготовке и проведении всех всесоюзных совещаний по теории машин и механизмов, а так же первого и второго съездов по ТММ.

С.Н. Кожевников проводил значительную работу по линии Международной федерации по теории машин и механизмов (IFTOMM), которая была создана 27 сентября 1969 г. в Закопане (Польша) во время

проведения II Международного конгресса по теории машин и механизмов. Целями Федерации является содействие развитию исследований в области теории машин и механизмов, расширение научных связей, организация конгрессов и симпозиумов, содействие обменом научно-технической информацией, оказание научной помощи развивающимся странам. Федерация поддерживает связи с ЮНЕСКО через Союз технических ассоциаций и с Международным центром механики. Первым президентом IFTOMM был академик И.И. Артоболевский. Исполнительный комитет по делам IFTOMM в России возглавляет профессор А.П. Бессонов.

В течение многих лет С.Н. Кожевников являлся членом комиссии "С" IFTOMM по связи науки с промышленностью, а также комитета по назначениям. В соответствии с планом работы комиссии "С" он в 1972 г. подготовил проект предложений национального комитета СССР по делам IFTOMM "О задачах, структуре, содержании и форме справочника по механизмам для конструкторов". Проект справочника был опубликован в Югославии (1974 г.) и Ирландии (1975 г.) для сбора отзывов и замечаний специалистов и окончательной редакции наименований его разделов. С.Н. Кожевников в течение ряда лет работал над справочником, собрав и систематизировав большое количество описаний и схем механизмов, однако завершить работу не успел.

Второе направление исследований по линии комиссии "С" IFTOMM для С.Н. Кожевникова было связано с "Унификацией методов экспериментального исследования тяжелых машин". Эта проблема была включена в план работ Научного совета по теории машин и механизмов Отделения математики, механики и кибернетики АН Украины. С.Н. Кожевников был председателем этого совета. Работы по проблеме проводились в трех подкомиссиях (в дальнейшем в Институте механики АН Украины под руководством Кожевникова выполнялась ведомственная тема с этим же наименованием).

С.Н. Кожевников считал необходимым для себя участвовать в работе организуемых IFTOMM всемирных конгрессов по теории машин и механизмов. Он выступал в качестве докладчика и участника научных дискуссий по проблемам, а когда был лишен возможности присутствовать на том или ином конгрессе, поручал кому-либо из членов делегации прочесть свой доклад. Дадим перечень всех таких докладов.

1. О выборе рациональной тахограммы транспортных систем (II конгресс, Польша, Закопане, 1969);

2. К исследованию статистической динамики транспортных машин – совместно с Е.Я. Антонюком (III конгресс, Югославия, Дубровник, 1971);

3. Вопросы биомеханики локтевого сустава лошади – совместно с С.Ф. Манзием и В.И. Клыкковым (IV конгресс, Англия, Ньюкасл, 1975);

4. Dynamics of a variable structure – совместно с Е.Я. Антонюком (V конгресс, Канада, Монреаль, 1979);

5. Mathematical model for rotating systems (VI конгресс, Индия, Нью-Дели, 1983);

6. Динамика машинного агрегата с гибкими и фрикционными связями при случайных внешних нагрузках – совместно с А.И. Ткачуком и М.В. Шинкоренко (VII конгресс, Испания, Севилья, 1987);

7. О некоторых характерных задачах динамики систем с подвижными деформируемыми основаниями – совместно с Н.М. Долговым (VII конгресс, Испания, Севилья, 1987).

24–27 сентября 1974 г. в г. Донецке состоялся Международный симпозиум по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности. Симпозиум проводился в соответствии с планами Международной федерации по теории машин и механизмов. Председателем оргкомитета симпозиума был назначен С.Н. Кожевников. Цель – подвести итоги, дать анализ и указать пути практического использования новых теоретических и экспериментальных исследований по динамике механических, гидромеханических и электромеханических систем, устойчивости движения мобильных рабочих машин (угольных комбайнов, транспортных систем и др.), динамике многодвигательных систем, статистической динамике горных и металлургических машин, механической защите машин, методам динамического синтеза машин, экспериментальной динамике и методам повышения надежности тяжелых машин, использованию металло-резиновых композиций с целью локализации источников возмущения или придания машинам требуемого динамического качества, динамике машинных агрегатов для вертикального (шахтный подъем) и горизонтального транспорта, по проблемам автоколебаний в машинах.

В организации Симпозиума приняли участие: Научный совет по теории машин и рабочих процессов Отделения механики и процессов управления АН СССР, Научный совет по теории машин и рабочих процессов Отделения математики, механики и кибернетики АН Украины, Министерства угольной промышленности и черной металлургии Украины, Донецкий научный центр АН Украины, Институт геотехнической механики АН Украины, Донецкий политехнический институт Министерства высшего и среднего специального образования Украины. Работали три секции: "Динамика машин для подземных горных разработок", "Динамика машин для открытых горных разработок", "Динамика металлургических машин".

В конце работы Симпозиума была проведена дискуссия по проблеме "Экспериментальное исследование тяжелых машин". Обсуждение этой проблемы поставлено в связи с тем, что в практику расчета тяжелых машин стали внедряться методы статистической динамики, которые могут дать положительный результат только при наличии надежных статистических данных. Для их получения необходимо унифицировать методы экспериментального исследования, определить достаточность информации (и ее содержание) о работе механизмов, определить вид записи и хранения информации, установить требования к системе датчиков с тем, чтобы иметь возможность накапливать

сопоставимую информацию о работе машин по результатам исследований, проводимых в различных организациях.

В работе Симпозиума приняло участие около 250 делегатов, представляющих 80 научных, учебных учреждений и промышленных предприятий более сорока городов СССР, а также зарубежные гости из Венгрии, ГДР, Польши, Западного Берлина. Было заслушано 125 докладов. На пленарном заседании состоялись 3 доклада: И.И. Артоблевского и С.Н. Кожевникова "Основные проблемы динамики машин", А.И. Целикова "Современная тенденция развития металлургического машиностроения" и В.Ф. Потураева "О разработке научных основ совершенствования существующих и создания принципиально новых горнообогатительных машин".

За заслуги в деле развития теории машин и механизмов С.Н. Кожевников был избран почетным членом ИФТОММ.

В киевский период деятельности С.Н. Кожевников продолжал выполнять большую научно-организационную работу. Он был членом Научного совета по теории машин и систем машин Академии наук СССР, Научно-методического совета Министерства высшего и среднего образования СССР, Научного совета по виброзащите машин и оборудования ГКНТ СССР, Национального комитета по делам ИФТОММ АН СССР. Кроме того, он был ответственным редактором межведомственного научно-технического сборника "Теория машин и механизмов", заместителем ответственного редактора сборников "Динамика и прочность машин", "Динамика и прочность тяжелых машин", членом редакционного совета журнала "Прикладная механика". Несмотря на большую занятость, Сергей Николаевич находил возможность работать неформально в перечисленных советах и редколлегиях. Приходилось неоднократно наблюдать, как С.Н. Кожевников буквально перекраивал направленную для опубликования статью, которая содержала оригинальные результаты, но была крайне неудачно выполнена в редакционном отношении. Буквально на глазах статья преобразалась, изложение становилось четким, ясным, без излишеств и тавтологии.

Сергей Николаевич увлекался историей науки. Говоря о пользе, а вернее, о необходимости исторических исследований, он подчеркивал: "Польза исторического исследования, особенно для научных работников, в том, что, знакомясь с такими исследованиями, они будут предостережены от повторения уже полученного результата. С этой точки зрения всякое историческое исследование следует признать очень важным. Я этому придаю очень большое значение. И, конечно, все те труды, которые сделаны в этом направлении для анализа, обзора теоретических исследований должны быть оценены довольно высоко". Кожевников придавал большое значение достоверности историко-научного знания: "Историческое исследование в области науки должно быть объективно, оно должно достоверно отражать все те научные достижения, которые сделаны на протяжении долгих лет развития науки".

По мнению С.Н. Кожевникова, знание истории науки не только необходимое звено в научном исследовании, но и ключ к правильному пониманию процесса развития любой науки. Именно исторический анализ позволяет делать прогнозы и предвидеть перспективы развития любой области науки и отрасли техники. Сергей Николаевич всегда подчеркивал, что всякая книга должна открываться историческим обзором и анализом представляемого ею направления науки. Он мечтал написать книгу о развитии механики машин на Украине, собрал большую библиографию по этому вопросу. Но творческим планам Сергея Николаевича не суждено было сбыться – историкам науки и его ученикам предстоит сделать задуманное им.

С.Н. Кожевников умер в возрасте 82 лет в ранге члена-корреспондента АН УССР, намного опередив это звание не только кругозором и многоплановостью своих научных исследований, но и смелыми идеями, новшеством, трудоспособностью и отдачей науке. Многие могут вспомнить с горечью, как не раз приходилось Сергею Николаевичу проявлять величие духа, волю, отстаивать свои научные убеждения перед догматизмом, бюрократизмом, да и просто невежеством. Это не только отнимало драгоценное время, которого и так не хватало, но и укорачивало жизнь. Непримируемость к догматизму и научной безграмотности стоила ему звания академика.

Постоянную моральную поддержку и заботу находил С.Н. Кожевников у своей жены и друга Людмилы Константиновны Островской. Л.К. Островская, доктор биологических наук, профессор, много лет заведовала отделом биохимии фотосинтеза Института физиологии растений АН Украины. За внедрение комплексонов при борьбе с хлорозом садовых и виноградных культур Людмила Константиновна в 1978 г. была удостоена Государственной премии СССР. За крупные научные результаты ей присвоено звание "Заслуженный деятель науки Украинской ССР".

С.Н. Кожевников поддерживал научные связи с зарубежными учеными. Приведем несколько выдержек из писем, направленных в его адрес. Профессор Szekely Imre (г. Клуж, Румыния): "Мы часто вспоминаем Вас не только как ученого, но и как человека. Нельзя забыть, как Вы танцевали наши национальные танцы в Бухаресте и в Тбилиси. Вы друг и учитель многочисленных специалистов по теории машин и механизмов и динамике". Александр Вригазов (Болгария): "Вы со времен первых книг продолжаете быть примером и вызывать восхищение читателей ясностью, глубиной и точностью рассмотрения нелегких современных проблем механики машин. Я рад, что Вы сохраняете неизменную работоспособность, которая не под силу многим молодым ученым. От всей души желаю сохранять активный образ жизни, творческой деятельности еще много лет". Профессор F.R.E. Crossley (США): "Возможно, для Вас представляет интерес тот факт, что когда-то я был учеником известного киевского профессора Степана Тимошенко. Я очень этим горжусь. Теперь приветствую Вас и Украину".



**После заседания секции по теории машин и механизмов  
Шестого всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике  
Слева направо: Е.Я. Антонюк, В.К. Кулик,  
Л.К. Островская, С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк**

Сергей Николаевич очень любил путешествовать. Еще в московский период жизни в 1937 г. он прошел по Военно-грузинской дороге через Клухорский перевал. В 1938 г. на лошадях проехал по Алтаю к Телецкому озеру. В 1956 г., в днепропетровские годы жизни, на теплоходе "Победа" проплыл вокруг Европы (это был первый советский круиз). Затем были поездки в Индию, Египет, Перу, Мексику, Болгарию.



В 1958 г. С.Н. Кожевников участвовал в Конгрессе металлургов в США. Американцы предложили ему лабораторию и большой оклад, но он лишь удивился такому предложению и отклонил его. В том же году Сергея Николаевича направили во Фрайберг в Горную академию для чтения лекций по динамике металлургических машин. Получая 5000 марок в месяц, он привез для кафедры много приборов.

В заключение этого раздела приведем неопубликованный материал о так называемой циркулирующей мощности, подготовленный Сергеем Николаевичем.

### *О циркулирующей мощности*

Теперь перейдем к обсуждению проблемы циркулирующей мощности. В механике машин нередко приходится анализировать развивающиеся в системах в форме замкнутых статически неопределимых контуров процессы. В зависимости от соотношения параметров системы, в частности передаточных отношений ветвей контура, появляется на первый взгляд парадоксальное явление, характеризующее необычайно большим расходом энергии на трение в кинематических парах, в некоторых случаях возникают релаксационные процессы и др. Для объяснения этого явления вводится понятие о так называемой циркулирующей мощности по контуру или просто циркулирующей мощности. Строятся модели-аналоги, в которых предполагается рекуперация энергии, с помощью которых делаются попытки объяснить ряд динамических процессов, по сути дела уводящие исследователя от правильного пути анализа.

Статически неопределимые контуры в машинах строятся специально, например, в машинах для испытания на износ зубчатых колес, ремней и др., с целью уменьшить мощность привода двигателя. В то же время во многих машинах статически неопределимые контуры образуются во время работы их в результате наложения дополнительных связей на концевые звенья ветвей разветвленной кинематической цепи обрабатываемым продуктом, как это имеет место в некоторых прокатных станах, мельничных поставах, валковых смесителях химической промышленности, бесступенчатых вариаторах скорости и др. Наличие циркулирующей мощности склонны искать и в дифференциальных механизмах.

Не было бы большой беды, если бы понятие о циркулирующей мощности использовалось только в качестве инструмента для расчета, дающего правильный ответ конструктору на поставленные вопросы. Некоторые же авторы пытаются подвести под это понятие теоретический фундамент, а в этом случае вопрос о циркулирующей мощности выстраивается в один ряд с вечным двигателем. Действительно, если подвести баланс мощности, то окажется что полезно использованная мощность, мощность, потерянная на трение, в сумме с циркулирующей мощностью превышает во много раз мощность двигателя, чего, конечно, не может быть. Навязывание циркулирующей мощности дуальной роли ничего не объясняет и не снимает противоречия с законом сохранения энергии.

Работа и мощность в процессе движения механической системы связаны непосредственно с преобразованием энергии одного вида в другой, причем при преобразовании энергии формируется действие, формально характеризующееся силой, передаваемой от одного очага преобразования энергии к другому очагу. В процессе преобразования энергии может участвовать и передаточный механизм, если изменяются кинетическая и потенциальная энергия его звеньев. Приведем пример. При точении на токарном станке энергия двигателя расходуется на упругую и пластическую деформацию срезаемого слоя металла, т.е. в конечном итоге преобразуется главным образом в тепловую энергию и частично в кинетическую энергию отлетающей стружки. Так протекает процесс на пассивном участке системы, в результате которого на выходном звене передаточного механизма (шпинделе) возникает реакция, характеризующаяся как сила резания, передаваемая системой звеньев, иногда трансформированная, на вход, т.е. на ротор двигателя. Здесь происходит преобразование электрической энергии в механическое действие, переносимое в очаг деформации передаточным механизмом. Таким образом, при анализе работы системы следует отличать звенья, связанные с преобразованием энергии, обладающие положительным (двигатель) или отрицательным потенциалом (рабочий инструмент) от системы звеньев, передающей действие. К. Маркс при анализе машинного производства рассматривал систему: машина двигатель – передаточный механизм – рабочая машина. Изложенное выше вполне согласуется с определением К. Маркса.

Возникает вопрос, как же правильно с методологической точки зрения следовало бы подойти к анализу рассматриваемых здесь статически неопределимых систем?

Поскольку замкнутый статически неопределимый контур с позиций классической механики, рассматривающей движение абсолютно твердых тел, неразрешим, необходимо рассматривать эту систему с учетом реальных физических свойств, в данном случае с учетом упругости звеньев, способных накапливать потенциальную энергию, или энергию деформации. Представим себе замкнутый контур рассеченным на каком-либо из его участков. Приложив к концевым частям рассеченной связи крутящие моменты противоположного знака, деформируем все упругие связи системы, после чего вновь, при сохранении упругой деформации звеньев, замыкаем систему, образовав контур. В процессе деформации в деформированных звеньях накопилось определенное количество потенциальной энергии. В зависимости от ее уровня на элементах кинематических пар контура возникают определенной величины реакции, т.е. замкнутый контур будет натянут. Если теперь натянутый статически неопределимый контур привести в движение, то на преодоление сил трения, возникающих на элементах кинематических пар под действием реакций, необходимо затратить энергию, или мощность, определяемую натяжением системы, коэффициентом трения и скоростью относительного движения

элементов кинематических пар. Эти потери будут иметь место даже при отсутствии внешней нагрузки, приложенной к какому-либо из звеньев контура. Произведение момента сил упругости вала и его угловой скорости называют потенциальной мощностью, которая якобы циркулирует по контуру подобно циркуляции гипотетической жидкости типа флогистона. Опиерирующих понятием циркулирующей мощности не смущает то, что работа внутренних реакций системы равна нулю.

Натяжение в системе может появиться и без предварительной деформации звеньев контура. В технологических машинах, например прокатных станах, натяжение может появиться в результате замыкания ветвей разветвленной системы обрабатываемым продуктом, в данном случае замыкание валков прокатываемым металлом. Если вращающиеся с одинаковой угловой скоростью валки имеют различные катающие диаметры, то натяжение шпинделей оказываются разными, а именно, ббльшим у шпинделя, приводящего валок с увеличенным диаметром. Может также получиться, что на валу, приводящем валок с меньшим диаметром, крутящий момент изменит знак на противоположный. В таком случае действие со стороны валка с ббльшим диаметром будет преодолевать не только сопротивление при прокатке, но и за его счет в контуре будет накапливаться деформация упругих связей до тех пор, пока не нарушится фрикционная связь, т.е. не произойдет срыв заготовки, характеризующий релаксационные колебания. Указанный режим работы прокатного оборудования крайне тяжелый, приводящий к разрушению наиболее слабых деталей механизма привода стана. Все эти процессы с точки зрения циркулирующей мощности объяснить невозможно.

Выше было указано, что циркулирующая мощность представляется как произведение момента внутреннего натяжения контура и угловой скорости вала. Поскольку в нашем представлении циркулирующая мощность связывается с преобразованием энергии, или работой, а в натянutoй системе никакого преобразования энергии (кроме работы сил трения в кинематических парах) не происходит, то оперирование этим понятием по меньшей мере некорректное.

Со статически неопределимыми контурами мы очень часто сталкиваемся при исследовании машин, поэтому очень важно, чтобы в сознании исследователей сформировалось правильное представление о физике процесса.

Мне хотелось бы еще отметить один важный, с моей точки зрения, вопрос, связанный с проектированием надежных и долговечных машин. Этот вопрос связан с определением работы силы трения, от которой зависят износ и нагревание конструкции. В конструкторской практике принято мощность трения, например в зубчатой передаче, определять как некоторую долю полезно использованной работы или мощности. Если мощность сил сопротивления определяется нагрузкой и абсолютной скоростью рабочего звена, то никаких затруднений не возникает. Если же мощность полезного сопротивления определяется

силой и скоростью относительного движения, то перенос традиционного метода определения мощности трения приводит к очень большим ошибкам, на что указал еще в 30-е годы Бакингом. Выход из положения найден введением так называемой потенциальной мощности (аналог циркулирующей мощности) как расчетной величины, определенной долей которой выражается мощность трения. Для зубчатых колес эта мощность определяется как произведение окружного усилия и скорости точки начальной окружности относительно полюса зацепления, т.е. линии центров зубчатых колес. В понятие потенциальной мощности никакого физического смысла не вкладывается, поэтому оно не может встретить каких-либо возражений.

---

## Педагогическое наследие. Ученики. Воспоминания

Сергей Николаевич Кожевников вошел в историю отечественной и мировой науки не только как выдающийся ученый, но и как талантливый педагог, воспитатель научных кадров, создатель отечественной научной школы в области динамики тяжелых машин. "Его имя, – писал один из учеников Сергея Николаевича А.И. Литвинов, – стоит в ряду корифеев науки о машинах, оно всегда произносится, когда мы отдаем дань уважения основоположникам теории механизмов и машин, оно всегда звучит как гордость нашей науки и олицетворение ее прогресса". Этой оценке созвучны высказывания и других машиноведов, механиков, близко знавших Сергея Николаевича.

"Кожевников широко известен в нашей стране и за рубежом как ведущий ученый и педагог в области теории механизмов и машин. Его фундаментальные исследования структуры, кинематики, динамики машин послужили основой для развития новых направлений и дали важные для практики результаты".

Природа наделила Сергея Николаевича огромным талантом и сильным характером. В нем неразрывно сочетались большая одаренность, неутомимая работоспособность, исключительная память, оригинальность и независимость мышления, простота, искренность. Ему всегда удавалось создавать вокруг себя атмосферу научного творчества, умело направлять мысли и работу других, не связывая их самостоятельности. Высокая научная принципиальность соединялась в нем с истинно доброжелательным отношением к ученикам и сотрудникам, ко всем, в ком проявлялся интерес к науке.

Сергей Николаевич был художественной натурой: глубоко понимал и ценил живопись, любил и знал поэзию, музыку. Оставаясь внешне всегда спокойным, он остро чувствовал настроение аудитории, собеседника, с тонким тактом и мягким юмором мог направить беседу в нужное русло. Его отличали неподдельная интеллигентность и огромное обаяние.

Он был безгранично предан науке о машинах (как считают ученики С.Н. Кожевникова, он был "настоящим ее рыцарем"). Глубокие знания и понимание законов общей и прикладной механики позволяли ему успешно решать различные проблемы теории механизмов и ма-

шин, демонстрировать удивительную ясность и четкость изложения, свободно овладевать сутью новых проблем и задач механики машин. "Поразительная способность Сергея Николаевича, – вспоминал Л.И. Цехнович, – схватывать новое и критически разбирать его производила сильнейшее впечатление на нас, когда впервые докладывалась работа, неизвестная ни ему, ни нам, коллегам и ученикам, докладывалась порой не очень ясно и не убедительно. После доклада Сергей Николаевич "с ходу" объяснял суть доложенного, как правило, короче и яснее, чем докладчик, и тут же высказывал свои, новые для нас соображения по рассматривавшимся задачам. Он делал это так, как будто давно был знаком с работой и заранее обдумал ее".

Чувство нового, знание и понимание теории органично сочетались в Сергее Николаевиче с талантом конструктора и проектировщика, изобретательской смекалкой, острым интересом ко всему нужному промышленности. "Обладая поразительной инженерной интуицией и строгой логикой, он никогда не выдумывал искусственных задач, но с неизменным успехом справлялся с реальными проблемами проектирования машин, проблемами, поражающими своими сложностями и разнообразием, проблемами, которые он мог увидеть, понять и решать, когда для других они оставались еще незамеченными".

Кожевникову были свойственны широта интересов и огромная эрудиция. Его исследовательская мысль постоянно выходила за пределы изучаемых им теорий, ставила и решала новые задачи, каждая из которых вытекала из практических потребностей промышленности. Для многих исследований, выполненных Сергеем Николаевичем, характерно сочетание теоретического и экспериментального методов. Благодаря этому он всегда умел установить сущность явления и дать ему объяснение с помощью простых, но адекватных для решения поставленной задачи экспериментов.

Сергея Николаевича нельзя представить без сотрудников, учеников, большой аудитории. Он начал педагогическую деятельность еще будучи студентом старших курсов Московского индустриально-педагогического института, когда преподавал на вечерних рабочих курсах и работал с изобретателями на спичечной фабрике "Пролетарское знамя" в г. Чудово. Он преподавал всю жизнь, но никогда не повторялся и на протяжении 50-летней педагогической деятельности постоянно изменял и совершенствовал читаемый студентам материал. Его лекции составляли существенную часть его творческой жизни как ученого и учителя, человека и гражданина.

С.Н. Кожевников учился педагогическому мастерству у крупных педагогов: А.П. Малышева и Г.Э. Проктора, Н.Г. Бруевича, Л.Б. Левенсона, очень непохожих по своим научным идеям и методам их популяризации.

Он начал слушать лекции А.П. Малышева и Г.Э. Проктора по теории механизмов и машин и теории упругости уже в 1928–1929 гг., будучи студентом третьего курса Московского индустриально-педагогического института. Положение самого предмета – механики машин –

в курсе высшей технической школы в эти годы было весьма существенным. Еще по инициативе П.Л. Чебышева в теорию механизмов и машин начали проникать математические методы, а в первой четверти XX в. ее существенно развили ученики Н.Е. Жуковского. Так, В.П. Горячкин и А.П. Малышев одними из первых применили к ее задачам экспериментальные методы, а Н.И. Мерцалов построил, основываясь на положениях и законах теоретической механики, ее вузовский курс.

С.Н. Кожевников многому научился у А.П. Малышева. Его исследования в области структуры и классификации механизмов вызвали у Сергея Николаевича интерес к этим проблемам, который он сохранил на все годы своей творческой деятельности. Благотворное влияние на молодого ученого оказало и его участие в ряде экспериментов, поставленных А.П. Малышевым, для которых была разработана оригинальная аппаратура.

Первые же годы работы в качестве преподавателя высшего учебного заведения выявили одну из характерных черт Сергея Николаевича – постоянное стремление к новому не только в научных изысканиях, но и в процессе подготовки инженерных кадров. В то же время глубокое уважение к слушателю, желание заинтересовать его и заставить полюбить излагаемый предмет, постоянно стимулировали Сергея Николаевича к совершенствованию методики преподавания. Лекция должна не только содержать новый, отвечающий уровню современной науки материал, но и сопровождаться показом и экспериментом, в связи с чем начиналась работа над созданием наглядных пособий, экспериментальной и лабораторной аппаратуры. В результате, наряду с чтением традиционных курсов по технической механике, деталям машин, сопротивлению материалов, проведением практических и лабораторных занятий по этим дисциплинам, С.Н. Кожевников подготовил и прочитал (в 1932–1933 гг.) новый для того времени курс "Динамики станков" с применением уравнений Лагранжа и рядов Фурье, поставил специальный практикум по этой проблеме: экспериментальное исследование шепингов и долбежных станков при помощи новой, малоизвестной в то время аппаратуры; под руководством С.Н. Кожевникова в Московском индустриально-педагогическом институте впервые вводится курсовое проектирование по теории механизмов и машин.

Несколько позже, в результате собственных изысканий С.Н. Кожевникова и творческого обмена опытом с преподавателями кафедры прикладной механики Московского авиационного института, им был введен новый курс по структурному, кинематическому и кинетостатическому анализу плоских механизмов, прочитанный в 1937 г. в Московском институте повышения квалификации инженеров. Новизна курса состояла в том, что Сергей Николаевич в числе первых (после Л.В. Ассура) обратил внимание на необходимость создания единой методики расчета механизмов: в отличие от многих курсов по теории механизмов тех лет в нем излагались общие методы кинематики в применении к конкретным типам механизмов, тогда как обычно

акцент делался на частные механизмы, а общие методы не приводились. Кожевников рассмотрел в этом курсе не только механизмы, образованные наложением двухпроводковых групп, но и более сложные, в состав которых входят трехпроводковые группы. Таким образом, он наряду с И.И. Артоболевским, В.В. Добровольским, Н.Г. Бруевичем способствовал проникновению идей Л.В. Ассура в высшую школу.

Непрерывной составляющей курса С.Н. Кожевников считал практические и лабораторные занятия, методически правильному проведению которых он придавал очень большое значение. Для этого на кафедре в Московском авиационном институте молодой преподаватель начал подбирать типовые задачи по различным разделам курса. В результате появились задачник по теории механизмов и машин, подготовленный им вместе с Г.Г. Барановым (литографированное издание Московского авиационного института), а также руководство к лабораторным занятиям по теории механизмов.

В эти же годы начали утверждаться и методологические принципы педагогического творчества С.Н. Кожевникова, основой которых являлась идея неразрывной связи науки и техники. Основа промышленности, – считал он, – это машины. Их нужно уметь создавать, чтобы они выполняли не только заданные функции, но и были экономичными, надежными, легко поддавались управлению. Неоценимую помощь в этом отношении оказывает механика машин... которая, как и вообще все инженерные науки, должна быть тесно связана с практикой. Только при этих условиях можно получить значительные научные и практические результаты. За долгие годы работы в области науки о машинах Сергею Николаевичу удавалось плодотворно осуществлять такое сочетание. Стремление к этому он старался воспитать и у своих учеников – студентов и аспирантов.

Этой же идее подчинил Сергей Николаевич и свое первое выступление в печати – серии публикаций 1934 г. под общим названием "Основные понятия о машинах. Беседы с машиностроителем".

В публикациях нашло краткое отражение содержание курса прикладной математики, читавшегося молодым преподавателем в Московском авиационном институте. Начиная изложение материала с истории создания машин, Сергей Николаевич последовательно раскрывает перед читателями роль машины-двигателя, рабочей машины (машины-орудия), передаточных и исполнительных механизмов в процессе производства, поднимает вопросы о трении, вибрациях, ударном действии сил в машинах, проводит классификацию машин и механизмов по функциональным признакам, подчеркивая при этом, что вполне законченную классификацию машин и механизмов, годную для всех времен, дать нельзя, потому что машины претерпевают изменения, отмирают, появляются совершенно новые их виды, а поэтому и классификацию машин нужно рассматривать как систематику машин, соответствующую данному состоянию техники. Значительное внимание уделяет он исследованию зубчатых колес, мальтийских и кулачковых механизмов, вопросам деталей и приспособлений, принципам автоматизации машин,



построения гидравлических и пневматических машин, а также вопросам нормализации, стандартизации, взаимозаменяемости в машинах, надежности работы последних. Обращает на себя внимание практическая направленность излагаемого материала.

Сравнивая содержание первого курса прикладной механики с последующими его вариантами, можно увидеть, насколько тщательно совершенствовал Сергей Николаевич читаемый курс. В него постоянно вводятся новые главы, разделы, параграфы, уточняется иллюстративный материал, методически обрабатываются трудные для понимания учащимися места.

Важное место в деле подготовки инженерных и научных кадров имел учебник Н.С. Кожевникова "Теория механизмов и машин". Он был написан в 1943–1945 гг. и подытоживал опыт научной и педагогической деятельности Сергея Николаевича по теории машин и механизмов в Московском авиационном и авиационно-технологическом институтах в 1934–1944 гг. Написанию книги предшествовали уже упоминавшиеся стеклографированные издания учебных пособий "Структурный и кинематический анализ механизмов", "Руководство к лабораторным занятиям по теории механизмов", а также "Задачник по теории механизмов и машин".

В курсе "Теория механизмов и машин" излагались кинематика механизмов, статика и динамика машин. Первая часть курса была посвящена структурному и кинематическому анализу механизмов – структуре и классификации механизмов.

В начале этого раздела приводится классификация современных механизмов, при этом выделяются такие их разновидности, которые благодаря определенным физическим свойствам обладают общностью методов исследования в динамике или не попадали в поле зрения специалистов по механике машин, хотя довольно широко использовались в инженерной практике. В первом случае это механизмы с упругими звеньями и механизмы переменной структуры (динамических систем), в том числе механизмы движения с остановками ведомого звена, во втором – механизмы с заданным относительным движением звеньев.

Раздел структуры механизмов, помимо традиционного изложения основных понятий и положений, акцентирует внимание читателя на наличии пассивных связей в некоторых механизмах и возникающих эффектах при функционировании этих реальных механизмов. Отмечается нежелательность пассивных связей, так как они вызывают дополнительную нагруженность механизма по сравнению с той, которая обусловлена только технологическими силами, действующими на рабочий орган. Рассмотрены примеры статически неопределимых механизмов (с пассивными связями) и показаны способы устранения статической неопределимости. Следует признать особую важность этих сведений для формирования инженерного мировоззрения лиц, занимающихся конструированием машин и механизмов или их ремонтом и эксплуатацией.

Особенностью раздела структуры является то, что в нем приводится только функциональная классификация механизмов, а из структурных классификаций – классификация В.В. Добровольского.

В разделе кинематики большое внимание уделяется аналитическим методам исследования. Приводится формулировка доказанной С.Н. Кожениковым теоремы о картине относительных ускорений точек звена, позволяющей по известным ускорениям двух точек звена легко находить ускорение любой его другой точки. Разработан метод определения скоростей и ускорений звеньев механизма в случае заданного относительного движения смежных звеньев.

В разделе, касающемся синтеза плоских механизмов с низшими кинематическими парами, излагается метод функций, наименее уклоняющихся от нуля, разработанный П.Л. Чебышевым и использованный им для синтеза направляющих механизмов. Применение метода проиллюстрировано на примере  $\lambda$ -образного механизма, шатунная кривая которого в пределах некоторой длины наилучшим образом приближается к прямой.

Отмечается, что использование метода Чебышева позволяет синтезировать механизмы с приближенно круговым движением точки шатуна на некотором участке, а на основе этих механизмов – получить механизмы с частичной остановкой ведомого звена при непрерывном движении ведущего.

Одна из глав учебного пособия посвящена изложению основ проектирования механизмов с высшими кинематическими парами, в том числе механизмов, воспроизводящих заданную передаточную функцию. Приводятся понятия огибаемых и огибающих и примеры вывода уравнений огибающих для важного класса передач – эвольвенты, положенной в основу профилирования большинства зубчатых передач.

Приводятся основы проектирования различных типов кулачковых механизмов; даются правила для замены этих механизмов механизмами с низшими кинематическими парами, что позволяет использовать общие методы кинематического исследования. Даются соображения по выбору закона движения ведомого звена кулачковых механизмов, который должен обеспечивать наилучшие условия функционирования; излагаются математические зависимости, необходимые для решения задач синтеза при параболическом, синусоидальном, трапециевидальном и линейном законах движения. Формулируются требования к кулачковому механизму как динамической системе, обладающей инерционными и упругими параметрами; дается соответствующее дифференциальное уравнение движения и его решение. Обращается внимание на тот факт, что на величину перемещения толкателя влияют ускорения второго и более высоких порядков, что требует тщательного выбора закона движения, реализуемого кулачковым механизмом. Даются методы аналитического способа вычисления координат эквидистанты профиля кулачка и других параметров, в том числе для пространственных кулачковых механизмов.

В разделе, посвященном зубчатым колесам, даются сведения о

геометрии их профиля, задачах по геометрии и способах образования эвольвенты на разных видах технологического оборудования, сведения о стандартизации параметров зубчатых передач.

Приводятся методы расчета профилей обычных и скорректированных зубчатых колес эвольвентного зацепления, даются начальные сведения о циклоидальном зацеплении, зацеплении Новикова, некруглых зубчатых колесах. Значительные разделы посвящены пространственным зубчатым передачам: винтовым, коническим, червячным, а также механизмам, составленным из зубчатых колес, включая механизмы с подвижными осями вращения – планетарным, дифференциальным, зубчато-рычажным. Дается информация о сравнительно новой разновидности – волновой передаче, предназначенной для реализации больших передаточных отношений. Имеются разделы по кинематике разнообразных механизмов для воспроизведения движения с остановками, пространственным механизмам, в том числе шарнирам Гука.

Значительный объем книги посвящен вопросам статики, кинестатики и динамики машин. В этих разделах даются необходимые определения машины и механизма, излагается классификация сил, правила определения сил инерции звеньев, метод замещения масс звеньев, использование принципа возможных перемещений, рычага Жуковского, кинестатики различных статически определимых групп механизмов. В главе о трении, помимо традиционного материала, дается методика применения круга трения к определению "мертвых" положений механизма. Приводятся зависимости для исследования эффектов трения в шариковых и роликовых подшипниках, передачах с гибкими телами, фрикционных передачах, включая основные виды вариаторов скорости, определения коэффициента полезного действия разнообразных механизмов и условий их самоторможения. Даны аналитические зависимости для определения кинетической энергии механизма, приведения масс и сил для систем с одной степенью свободы. Для исследования динамики машин и механизмов привлекаются уравнения Лагранжа второго рода с изложением использования их методики на примерах конкретных механизмов. Изложены примеры интегрирования уравнений движения для некоторых частных случаев механизмов, а также методы приближенного решения уравнений.

Имеются разделы по регулированию машин, уравниванию сил инерции механизмов и балансировке вращающихся масс.

Материал учебного пособия дан в сжатой, но ясной форме, так характерной для работ Сергея Николаевича. Отдается предпочтение аналитическим методам решения. Стиль изложения материала предельно ориентирован на формирование инженерного мышления, т.е. просматривается, что автор выступает не только как педагог, но и как ученый-исследователь, выполнивший серьезные работы по многим проблемам, имевшим успешный выход в практику использования в реальных машинах.

Для характеристики этого труда можно привести несколько слов

из официального отзыва А.П. Малышева, рецензировавшего книгу перед первым ее изданием.

"Автор идет самым трудным путем педагога – он ищет доступной формы изложения, чтобы читатель его понял правильно, причем, однако, научная ценность излагаемого учения остается на своей полной высоте. Это – путь самых талантливых и крупных педагогов.

Целеустремленность автора совершенно ясна. Он вооружает читателя для решения практических задач, возникающих в машиностроении. В противовес застоявшейся затхлости кабинетных упражнений некоторых авторов по кинематике механизмов, от работы С.Н. Кожевникова веет свежестью современных задач и методов, интересных конструкторов и заводских машиностроителей.

Такое изложение может увлекать читателя и возбуждать его фантазию к творческой деятельности. Автор сам работает творчески. Много у него дается впервые, много оригинального. Так, например, прекрасное впечатление остается от анализа пяти законов движения ведомого звена в кулачковых механизмах. Этого нигде нет, но это очень полезно для инженера.

Я приветствую появление этого труда С.Н. Кожевникова, буду ждать скорого его появления в печати и желаю ему заслуженного успеха".

"Теория механизмов и машин" увидела свет в 1949 г. и после капитальной переработки вышла вторым изданием в 1954 г. Она быстро получила признание в СССР и за рубежом и была издана в венгерском переводе в Будапеште (1952 г.), в чешском – в Праге (1953 г.), в польском – в Варшаве (1956 г.), а затем также на румынском и китайском языках. В 1969 г. и 1973 г. на русском языке вышли третье и четвертое издания этой книги.

В 1959 г. на страницах журнала "Вестник высшей школы" (№ 8) вновь была поднята дискуссия о системе изложения курса теории механизмов и машин во втузах. Начал дискуссии А.М. Антовиля статьей "О перестройке курса теории механизмов и машин", в которой затронул следующие вопросы:

- принять в качестве основы курса функциональную систему классификации по видам передачи и преобразования движений;
- основное внимание в курсе уделять синтезу, анализу же отвести более скромное место;
- графические методы решения задач анализа и синтеза механизмов следует в целях повышения точности решений заменить аналитическими методами;
- значительное место в курсе должно быть уделено специфике приборостроения и механических счетно-решающих систем, а также некоторым новым задачам, возникающим при создании машин-автоматов.

В дискуссии приняли участие многие преподаватели высшей школы; большинство из них согласилось с мнением Антовиля о необходимости повышения значения методов синтеза, сокращения разделов,

посвященных структуре и классификации механизмов. Принял участие в дискуссии и И.И. Артоболевский. Он считал, что содержание курса должно включать два раздела.

«Первый, "Теория механизмов", будет содержать вопросы структуры механизмов, их кинематического, динамического и кинестатического расчета; сюда же должны входить вопросы синтеза механизмов...

Второй раздел – "Теория машин" – должен освещать вопросы построения машин, т.е. вопросы, раскрывающие сущность связи кинематической схемы машин с теми технологическими операциями, которые они выполняют. Это будет вводить слушателей в теорию построения машин автоматического действия – правильного выбора типов механизмов, цикличности их действия, общей производительности машин, их к.п.д. и т.д. Далее в этом разделе должно быть отведено существенное место теории регулирования и теории колебаний в машинах»\*.

Артоболевский считал при этом, что значение курса теории механизмов и машин в общей подготовке инженера заключается в том, что он является первым инженерным курсом, при изучении которого студенты прилагают полученные ими знания по математике, механике и физике к задачам проектирования современных механизмов. В качестве примера оригинальных учебников по теории механизмов и машин он приводил учебники В.В. Добровольского, Х.Ф. Кетова и Н.И. Колчина, а также С.Н. Кожевникова. Написанные с разных точек зрения, эти учебники удовлетворяют всем требованиям программы высшей школы.

Сергей Николаевич принял участие в дискуссии статьей "На основе большого педагогического опыта". В ней на примере курса Г.Г. Баранова "Теория механизмов и машин" он изложил свой взгляд на значение вузовского курса по теории механизмов и машин. Он подчеркивал, что наука о машинах – теория механизмов и машин – это фундамент, на котором строится образование инженера-механика. Ее изучение открывает студенту путь к освоению обширного цикла машиностроительных дисциплин, которые дают будущему специалисту знания в области расчета, проектирования и исследования механизмов, машин-автоматов, автоматических линий.

Давая определение машине и механизму, С.Н. Кожевников отмечал, что неправильно отождествлять механизм и машину. Если говорить о методах расчета, то для механизмов и для машин они могут быть одинаковыми, поскольку механизм и машина различаются не структурой, а применением. Однако машина, появившаяся как продукт труда человека, как результат его созидательной, творческой деятельности, имеет целью воздействовать на предмет труда или преобразование одного вида энергии в другой, тогда как целью применения ме-

---

\* Артоболевский И.И. Каким же должен быть курс теории машин и механизмов и машин // Вестник высшей школы. 1960. № 5. С. 45.

ханизмов является преобразование движения или передача мощности.

Сергей Николаевич всегда придавал большое значение в лекторской практике истории науки. Он подчеркивал, что было бы полезно в соответствии с программой курса включить во введение краткие данные из истории науки о машинах, а также о ее состоянии не только в нашей стране, но и за рубежом, назвать наиболее выдающиеся достижения, полученные отечественными и зарубежными учеными за последние годы. Изложение материала следует начинать именно со структурного и кинематического анализа, но не только простых плоских механизмов 1-го класса 2-го порядка. Будущие инженеры должны знать кинематический и кинетостатический анализ более сложных механизмов, а именно, достаточно распространенных в практике механизмов 1-го класса 3-го и 4-го порядков по Ассуру с применением ложных планов или особых точек Ассура.

Требуют ясного и доступного изложения сложные вопросы синтеза шарнирных механизмов, в частности синтеза четырехзвенника по заданным положениям звена, по заданным углам и по коэффициенту увеличения средней скорости обратного хода; синтеза V-образного двигателя из условия равного удаления мертвых точек всех поршней от оси коленчатого вала. Особого внимания требуют вопросы анализа и синтеза кулачковых механизмов, полезны соображения о выборе типа и закона движения толкателя (определяющих работу с жесткими или мягкими ударами и без удара).

Одним из центральных вопросов курса теории механизмов и машин является теория зацеплений (и, в частности, геометрическая теория точечного зацепления) цилиндрических зубчатых колес, косозубых передач Новикова, пространственных зубчатых колес (конических, гиперболоидных, винтовых, гипоидных, червячных), а также вопросы кинематики сложных зубчатых передач, включая эпициклические – простые и замкнутые. В этот раздел следует включить материал о принципиально точном профилировании зубчатых колес, вопрос о подборе числа зубьев планетарного редуктора. Программой курса предусмотрен курсовой проект, посвященный последнему вопросу, поэтому его освещению требует полноты и ясности.

Лекции, касающиеся динамики машин, должны содержать материал о силах инерции и методах их определения, методику силового расчета механизмов 1-го класса от 1-го до 4-го порядка по Ассуру включительно, трение в механизмах и машинах, трение гибких тел, методы определения к.п.д. некоторых частных механизмов, фрикционные передачи. Важное значение имеет исследование движения механизма под действием заданных сил, изложение приближенного расчета маховика и комплекса вопросов, связанных с регулированием хода машины, а также методов уравнивания механизмов и машин, методики уравнивания стержневых механизмов на основе замещения масс. Несомненно, нужным является материал о методах динамической балансировки Шитикова и определения центра тяжести механизма, рассмотрение понятия о главных векторах.



**С.Н. Кожевников и Л.Т. Дворников в кабинете по теории машин и механизмов Политехнического института г. Фрунзе (ныне Бишкек). 1980 г.**

При изложении курса теории машин и механизмов ценно использование результатов новейших исследований в этой области, полученных самим лектором, а также известными отечественными и зарубежными исследователями.

Сергей Николаевич был одним из немногих преподавателей высшей школы, которые не просто прочитывали свои курсы, но и стремились осмыслить педагогический процесс, направить его в сторону улучшения подготовки инженера. В 1965 г. он подготовил большую статью «Значение курса "Теория механизмов и машин" в подготовке инженера», в которой как бы подытоживал собственный педагогический опыт и делал некоторые выводы. Так, он указывал на необходимость дифференцированного подхода к лекциям на первых и старших курсах технических вузов. Рациональная подготовка инженера должна проводиться с упреждением, с учетом конкретных тенденций

развития промышленного производства, поскольку отрыв во времени от приобретения первых знаний в области науки о машинах до их использования в производственной практике составляет около 6–7 лет.

Лекции на первых курсах должны содержать основные сведения, которые составляют фундамент для прохождения последующих разделов курса, для выполнения графических работ и проектов. Помимо этого, по мнению С.Н. Кожевникова, на старших курсах необходимо ввести вторую часть курса теории механизмов и машин. Его программа должна быть согласована со специализацией будущих инженеров, причем количество часов, отводимых на чтение лекций, должно равняться количеству часов, отводимых на лабораторные и практические занятия. Лекции на старших курсах должны стать важным звеном в повышении активности студентов, подталкивании их к независимому, критическому осмысливанию прослушанного материала, к попыткам самостоятельного разрешения поставленных задач.

Сергей Николаевич считал, что на лекциях и на практических занятиях студент должен получать глубокую научную подготовку, специализацию же следует проводить в процессе выполнения лабораторных работ и при курсовом проектировании. С этой целью необходимо увеличить времени на лабораторные занятия и создание стандартной лабораторной базы по теории машин и механизмов. Лабораторное оборудование должно быть современным, так же как и измерительная аппаратура, при этом должно быть организовано их промышленное производство на специальном машиностроительном заводе.

Кредо всей творческой деятельности С.Н. Кожевникова, в том числе и педагогической, – незыблемый симбиоз, связь науки о машинах с развитием машинного производства, с практикой машиностроения. Сергей Николаевич очень часто повторял высказывание П.Л. Чебышева о плодотворности такой связи: "Сближение теории с практикой дает самые благоприятные результаты, и не одна только практика 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 метод. Если теория много выигрывает от приложения старой методы или новых развитий ее, то она еще более приобретает открытием новых метод, и в этом случае наука находит себе верного руководителя в практике"\*.

Всякое отступление от такого естественного принципа, своеобразного симбиоза связи науки и производства, подчеркивал С.Н. Кожевников, приводит к развитию схоластических идей, к догматизму, а

---

\* *Чебышев П.Л.* Черчение географических карт. ПСС. Т. 7. С. 18.



во многих случаях – к кризису идей. Недостаточная связь производства с наукой ведет к отставанию промышленности.

Мысль о плодотворности связи теории машин и механизмов с промышленным производством Сергей Николаевич постоянно пропагандировал в своих лекциях. Ставя вопрос о значении курса теории механизмов и машин в подготовке инженера с учетом существенных изменений во всех производствах, связанных с задачами дальнейшей автоматизации и механизации, Кожевников писал: "В самом деле, хорошая подготовка инженера по теории механизмов и машин поможет ему в успешном проектировании и изготовлении машин, в разработке проблем автоматизации производства и сведет до минимума ошибочные решения, которые обходятся государству очень дорого"\*.

Сергей Николаевич считал, что содержание общепринятого курса по теории машин и механизмов, читаемого студентам механических специальностей, не отвечает тем требованиям, которые следовало бы к нему предъявить с точки зрения потребностей современного машиностроения. Как правило, курс преподносится в форме логического продолжения теоретической механики, хотя и с практическим уклоном. Механизм рассматривается как сочетание твердых тел, обладающих определенными структурными признаками. На их основе строится кинематический, кинетостатический, динамический анализ последних. Отдельно рассмотрены кулачковые и зубчатые механизмы. Упрощенно сообщаются некоторые сведения из области синтеза стержневых механизмов. Из этого материала будущий инженер при проектировании новой машины может выбрать лишь те сведения, которые позволят проверить правильность структуры механизма, произвести кинематический и кинетостатический анализ. Вместе с тем, при создании новых машин проектировщику приходится выбирать целевые механизмы, устанавливать их кинематические и режимные характеристики и при этом быть уверенным в том, что созданная машина будет отвечать при работе требованиям технического задания.

Возможна ли такая постановка вопроса и насколько она реальна – задается вопросом С.Н. Кожевников.

В курсе теории механизмов и машин, – отвечает он, – студентам сообщается лишь о некоторых типах механизмов – стержневых или только о кулачковых, или составленных из зубчатых колес, в то время, как в современной технике круг применяемых механизмов значительно шире. При описании механизмы наделяются определенными физическими свойствами, характерными для абсолютно твердого тела, что также далеко не соответствует производственной деятельности. О колебаниях будущий инженер имеет представление только как о грузике, подвешенном на пружине.

В курсе теории механизмов и машин ограничиваются сообщением, что наряду с твердыми звеньями в машинах встречаются также жидкие,

---

\* Кожевников С.Н. Значение курса "Теория машин и механизмов" в подготовке инженера. Киев, 1965. С. 8.

газообразные, электрические, электронные звенья. Но студенту остается непонятным, как представить кинематическую пару, которую образует газообразное или жидкое звено с поршнем. Поэтому крайне необходимо описание характеристик гидравлических и пневматических механизмов. Будущий инженер должен знать, что жидкость или газ, в зависимости от характера соответствующего устройства в механизме, может играть роль связи или энергоносителя. Зная характеристики гидравлических или пневматических механизмов, он может сопоставить эти механизмы с электрическими двигателями и решить, какой из возможных типов двигателей целесообразно применить в каждом конкретном случае.

Сергей Николаевич обращал далее внимание на то, что в курсе теории механизмов и машин ничего не говорится о том, что во многих случаях действительные нагрузки в машинах определяются упругими свойствами звеньев и распределением масс. Также ничего не сообщается о механизмах переменной структуры, о различного типа механизмах с остановками, блокирующих, реверсивных механизмах, о механизмах, основным режимом движения которых является режим эпизодический, о том, что в качестве ведущих звеньев могут быть не только звенья, соединенные с неподвижной стойкой.

В курсе теории механизмов и машин почти не останавливаются на пространственных механизмах, в то время как их применение может дать во многих случаях возможность наиболее просто осуществить нужное движение звеньев. Далее, студентов почти не знакомят с гидродинамической теорией смазки, хотя срок службы машины в основном зависит от смазки.

Конструкторы, создающие новые машины, и механики, обслуживающие действующий парк машин, – подчеркивал С.Н. Кожевников, – должны хорошо разбираться в работе отдельных механизмов, выбирать оптимальные механизмы, удовлетворяющие заданным условиям работы, т.е. должны владеть машиной. В то же время подготовка будущих инженеров в высшей технической школе не соответствует уровню современного развития промышленности.

Сергей Николаевич в связи с этим поднял вопрос о необходимости подготовки специалистов по теории механизмов и машин. Специалисты такого профиля должны прослушать спецкурс, содержащий ряд дополнительных разделов теории механизмов и машин, а также отдельные курсы по пневмо- и гидромеханизмам, электроприводу (поступательному и ротативному в обычном представлении), автоматизации производственных процессов, теории автоматического регулирования, промышленной электронике, теории колебаний. Кроме того, они должны прослушать цикл курсов, касающихся определения прочности, курс экспериментальной динамики. Усвоение этих курсов должно базироваться на хорошей подготовке по механике и математике, причём такие разделы математики, как дифференциальные уравнения математической физики, операционное исчисление, интегродифференциальные уравнения, методы малого параметра, гармонической линеа-

ризации и другие, должны читаться будущим специалистам на третьем курсе. Сергей Николаевич говорил: "Инженер, не владеющий математическими методами, – это не инженер, а монтер... Надо изучать математику как можно в большем объеме, а главное – как можно основательнее".

Сергей Николаевич неоднократно высказывался и по вопросу продолжения специализации подготовки научных кадров. Он считал, что подготовка кадров преподавателей по теории механизмов и машин через аспирантуру очень затруднена и не всегда оптимальна в силу того, что ни одно из высших учебных заведений страны не выпускает специалистов по данному профилю. Значительно лучшие результаты можно было бы получить путем повышения квалификации ассистентов через курсы, рассчитанные на два-три года обучения. На этих курсах необходимо ввести чтение отдельных глав по динамике реальных машин, звенья которых обладают упругими свойствами, а механизмы – нелинейностями; по динамике стационарных и нестационарных процессов; практическим методам решения задач динамики, включая исследования на электронных моделирующих устройствах; по анализу динамических связей системы двигатель – машина, причем должны быть рассмотрены все типы двигателей (электрические, гидравлические, пневматические); по теории колебаний, включая вибрационные машины; по теории и методам автоматического регулирования.

На курсах следовало бы также изучить задачи практического синтеза частных механизмов (стержневых, кулачковых, механизмов с остановками, зубчатых механизмов); задачи, связанные с проектированием зубчатых передач и др.; методы современной экспериментальной динамики. Для плодотворной работы курсов необходимо организовать предварительную подготовку слушателей курсов по математике и теоретической механике.

Преподаватели, закончившие такие курсы, по мнению С.Н. Коженикова, получили бы возможность в своих лекциях оторваться в определенной мере от учебников, излагать материал, адекватный требованиям современного машиностроения.

Возвращаясь к 40-м годам XX в., отметим, что московский период деятельности стал важным этапом роста Сергея Николаевича как педагога-руководителя. Вокруг него начала объединяться молодежь из числа окончивших Московский авиационный и авиационно-технологический институты, студенты старших курсов, заинтересованные проблемами механики машин – Ю.Н. Герасимов, А.Г. Налджанц, И.Э. Беккер, А.М. Пруслин и др. С большим уважением и теплотой писал впоследствии Сергей Николаевич о своих первых учениках. Например: "Беккер Ирина Эрнестовна – выполняла под моим руководством дипломную работу в МГУ им. Ломоносова, которая получила высокую оценку при защите. Работала научным сотрудником ЭНИМС под моим руководством, затем – научным сотрудником ЦНИИМАШ. Весьма способная.

Налджанц Ашот Геденович – аспирант МАИ, слушал мои лекции по динамике станков и выполнял под моим наблюдением экспериментальную работу – диссертационную, получившую очень хорошие отзывы при защите. Впоследствии – директор Кутаисского авиационного техникума. Прекрасный организатор, сумевший поставить очень тонкие эксперименты по определению малых усилий резания при больших скоростях, построил для этой цели оригинальную аппаратуру.

Герасимов Юрий Николаевич – обладает большим опытом в преподавании во вузах, очень трудолюбивый. О его эрудиции и умениях решать задачи можно судить по тому, что диссертационную работу... выполнил в течение семи месяцев в довольно тяжелых материальных и бытовых условиях. Работа при защите получила высокую оценку. Работал в МАТИ моим помощником, затем – заведующим кафедрой".

Воспитательная работа с молодыми механиками приносила С.Н. Кожевникову большое удовлетворение. Она была многогранна, включала беседы с учениками, чтение спецкурсов, руководство диссертациями и дипломными проектами, творческое совместное участие в создании лабораторной и экспериментальной базы кафедр теории механизмов и машин МАИ и МАТИ, написании учебно-методической литературы и др. Фундаментом этой работы являлись, прежде всего, глубокое уважение к личности ученика, его научным устремлениям, внимательное и искреннее отношение к нему, простота и доступность в общении, но вместе с тем, строгость и нетерпимость к каким-либо нарушениям в принятых обязательствах. Человек слова и дела, Сергей Николаевич требовал от своих учеников добросовестности, полной отдачи в работе, дисциплины, и этих требований никогда впоследствии не послаблял.

В 1944 г. С.Н. Кожевников переехал в г. Днепропетровск. Здесь принял на себя заведование кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин Днепропетровского металлургического института (ДМЕТИ), и фактически с этого времени началось формирование его научной школы по динамике машин. Этот процесс оказался неразрывно связанным с организацией в ДМЕТИ по инициативе С.Н. Кожевникова новой специальности "автоматизация металлургического оборудования", открытием соответствующей кафедры, которую он возглавил.

Были созданы и оснащены современным экспериментальным оборудованием ряд лабораторий, введены другие новые специальные курсы – по теории колебаний, гидро- и пневмоавтоматике металлургических машин. Это дело потребовало, в силу своей сложности и, в особенности, новизны, огромной организационной, научной и педагогической работы. Прежде всего, Сергей Николаевич совместно с сотрудниками детально изучил работу заводов, эксплуатирующих автоматическую аппаратуру и производящих эту аппаратуру, лабораторий по ее изучению и наладке, конструкторских бюро по ее проектированию. В результате был собран обширный материал о работе таких

организаций, на основе которого можно было приступить к подготовке специалистов и постановке курсового и дипломного проектирования по новой специальности.

Создание базы данных позволило заняться разработкой спецкурсов по автоматизации металлургического оборудования, гидроаппаратуре, пневмоаппаратуре, обеспечением выполнения курсовых работ и дипломного проектирования. Дело было новое и потребовало от самого Сергея Николаевича и его сотрудников большой и напряженной работы. Для указанных курсов было подготовлено несколько сот наглядных пособий – демонстрационных чертежей, диапозитивов, моделей. Сергей Николаевич вел спецкурсы сначала сам в течение нескольких лет, а потом передавал чтение лекций сотрудникам. Апробированные им лекции выдавались на ротاپринте, а позже составили основу книги "Аппаратура и механизмы гидро-, пневмо- и электроавтоматики металлургических машин".

Отличительной чертой лекций Сергея Николаевича было строгое, ведущееся на большой научной высоте, и вместе с тем увлекательное изложение, неизменно собирающее большую аудиторию. Ясность и простота изложения, характерные для большого ученого, сочетались в них с обилием примеров, взятых из практики, и глубоким знанием производства, тесной связи с которым С.Н. Кожевников не терял никогда. Лекции Сергея Николаевича по теории машин и механизмов и специальным дисциплинам в Днепропетровском металлургическом институте способствовали применению их мощного аппарата для решения расчетно-конструкторских задач как студентами, так и механиками-производственниками.

С.Н. Кожевников придавал исключительное значение лабораторным занятиям студентов. Поэтому с самого начала работы в Днепропетровском металлургическом институте по его инициативе была создана лаборатория по теории машин и механизмов, а для подготовки инженеров по новой специальности "автоматизация металлургического производства" по замыслу и под руководством Сергея Николаевича были созданы силами кафедры учебные лаборатории по гидро- и пневмоавтоматике и промышленной электронике. Учебный процесс строился на основе тесной связи с производством. Так, дипломное проектирование было организовано на Никопольском южно-трубном заводе, заводе "Запорожсталь", тематика проектов отвечала реальным задачам, выдвигаемым практикой производства.

Новая специальность хорошо отвечала требованиям восстанавливаемого после второй мировой войны народного хозяйства, что еще раз подтверждало практическую направленность всех начинаний С.Н. Кожевникова. Она быстро завоевала популярность у студенческой молодежи, привлекла многих способных людей к науке. В эти годы особенно ярко проявились в Сергее Николаевиче его умение отбирать творческую молодежь, желание учить и давать ей научное воспитание. Он не только готовил кадры, воспитывая будущих ученых и специалистов-производственников. Он умел определить призвание каждого

своего ученика, раскрыть его индивидуальные способности и дать им развиваться в полную силу. Сергей Николаевич настоятельно рекомендовал молодым механикам самостоятельно, критически и творчески мыслить, не определять свои знания только количественно. Именно творческое начало в молодом исследователе привлекало Кожевникова, являлось для него показателем ученого. При этом каждый его ученик знал, что ему делать, верил в то, что дело его нужное и полезное, верил в разностороннюю поддержку своего учителя.

Обладея отличными памятью и эрудицией, свободно ориентируясь в литературе по прикладной механике, С.Н. Кожевников ясно представлял, что сделано и что еще предстоит сделать в области механики металлургического оборудования, и, особенно, его динамики. Запас идей, мыслей, тем был у Сергея Николаевича огромен, он щедро делился ими со своими учениками. Он считал, что для результативной научной и педагогической работы в области прикладных наук, к которым относится механика машин, очень важно, чтобы ученый чувствовал тенденции развития промышленности, техники и в соответствии с намечающимися тенденциями развития формулировал научные проблемы, решение которых должно опережать их реализацию. У Сергея Николаевича это чувство предвидения было особенно острым. Не признать этого – значит не понять причин проявляемого им многостороннего интереса к проблемам механики машин, начиная от проблем структуры механизмов до проблем их диагностики.

Однако Кожевников учил не только мыслить, но и работать, раскрывая перед начинающими исследователями полную картину экспериментального труда. Уделяя большое внимание вопросам эксперимента, он подчеркивал, что теоретические исследования, проводимые на основе дифференциальных уравнений, нередко приводят к определенной идеализации системы, при которой некоторые достаточно существенные факторы могут оказаться неучтенными. Поэтому именно по результатам эксперимента следует проводить идентификацию различных динамических систем, воссоздавать структуру адекватных математических моделей. Принцип "черной работы не бывает" среди учеников Сергея Николаевича перерос в традицию, поскольку "вечным примером" оставался сам учитель, который "надевал робу и лез под стан" для проведения эксперимента.

Огромное значение для формирования будущих машиностроителей имел семинар по динамике машин, который организовал С.Н. Кожевников в Днепропетровском металлургическом институте. Сначала его участниками были студенты старших курсов, ведущие самостоятельные исследования, преподаватели технических дисциплин, позже – сотрудники многих высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов, заводов, конструкторских организаций Днепропетровска, Днепродзержинска, Харькова, Мариуполя, Запорожья, Кироваграда. Постепенно кафедральный семинар перерос в Днепропетровский семинар по теории машин и механизмов.

Доклады на этом семинаре носили первоначально реферативный

характер, причем обязательно на значительный отрезок времени посвящались одной проблеме так, чтобы участники занятий получали не поверхностное представление о ней, но вникали в нее. При том высоком научном уровне, на который были поставлены эти занятия, они принесли участникам огромную пользу. В дальнейшем и ряд исследовательских работ был выполнен сотрудниками и аспирантами Сергея Николаевича непосредственно на основе идей и с помощью методов, изучавшихся на семинаре. На нем стали рассматривать главным образом оригинальные работы, и семинар стал основным местом обмена мнениями и критики выполненных исследований, творческой дискуссии, в которой все были равны. Здесь совершенствовали свои знания В.И. Большаков, Ф.К. Иванченко, А.М. Иоффе, Б.М. Климковский, А.Ф. Крисанов, О.Н. Кукушкин, А.Н. Ленский, Б.И. Мирошниченко, В.Ф. Пешат, В.Н. Потураев, А.В. Праздников, П.Я. Скичко, А.С. Ткаченко, Л.И. Цехнович, В.А. Чигринский и многие другие.

Семинар стал важной школой, которая учила разбираться в материале, выбирать существенные результаты исследований и выяснять их значение, учила выступать. Сергей Николаевич внимательно и умело руководил работой семинара, предоставляя каждому ее участнику возможность совершенствовать свое лекторское мастерство, свободно высказываться. Он поддерживал обсуждение, не стесняя своим присутствием, не подавляя авторитетом и знаниями. Он увлекал всех одним общим интересом – выработать наиболее ясное представление о современном состоянии науки о машинах и путях ее дальнейшего развития. В сущности, творческая и равноправная атмосфера на кафедре и в семинаре, заложенная Сергеем Николаевичем, обусловила еще одну традицию – "дисциплина плюс демократия: в научной дискуссии все равны, в работе – все исполнительны".

Во многом определяющее влияние на формирование школы С.Н. Кожевникова по динамике машин оказало создание в 1954 г. в Институте черной металлургии АН Украины отдела механизации и автоматизации металлургического оборудования. Под руководством Сергея Николаевича отдел, который первоначально состоял только из трех сотрудников, так же как и кафедра теории механизмов и машин ДМЕТИ, вырос в крупный коллектив с высоким научным потенциалом, располагающий средствами и опытом современного эксперимента. Здесь получила наиболее полную реализацию основополагающая мысль ученого о том, что звенья машины необходимо рассматривать как упругие тела, поскольку их взаимодействие при работе существенным образом отличается от аналогичной системы с теми же инерционными параметрами и внешними нагрузками, но для недеформируемых звеньев. Особенно актуальным учет упругости становился для динамики и точности тяжелых машин, работающих при высоких скоростях, что соответствовало тенденциям прогресса в машиностроении.

Этот плодотворный подход к воззрению на машину впоследствии

был усилен учетом других реальных физических свойств машин и механизмов, в том числе различных нелинейностей, например, порождаемых зазорами или разрывными фрикционными связями, диссипативностью упругодеформируемых звеньев, влиянием динамических подсистем приводных двигателей (электрических, гидравлических, внутреннего сгорания) на полную систему, влиянием деформируемости основания и звеньев машины на дополнительную нагруженность и т.д.

Задачи, поставленные Сергеем Николаевичем и решаемые созданной им школой, приобрели большое значение для народного хозяйства: ведь металлургические машины, как правило, уникальны, создаются в единичных экземплярах, а требования к теоретическим результатам, с помощью которых прогнозируется картина динамической нагруженности для проектируемых машин и качество получаемого продукта, предъявляются необычайно высокие.

Постепенно в процессе деятельности кафедры Днепропетровского металлургического института, отдела Института черной металлургии АН Украины, Днепропетровского семинара по динамике машин была выработана научная направленность, методология исследований, сформулированная научным лидером и основателем школы С.Н. Кожевниковым в 1961 г. в монографии "Динамика машин с упругими звеньями". Она характеризовалась единством основных взглядов, общностью и преемственностью принципов и методов: тяжелая машина описывалась моделью в виде рядной, разветвленной или замкнутой системы дискретных масс, связанных упругими звеньями. Описание сводилось к системе линейных дифференциальных уравнений, где в качестве независимых координат принимались усилия в упругих связях. Для приближения теоретических исследований к конструкторской практике показывалась возможность анализа дифференциальных уравнений динамики машин с упругими звеньями при помощи аналоговых электронных вычислительных устройств.

Эта методология оказалась очень плодотворной и живучей. Вооруженные ею, ученики Сергея Николаевича применили ее к другим классам систем – гидромеханическим (А.В. Праздников, В.Ф. Пешат и др.), пневмомеханическим (В.Ф. Пешат, А.С. Ткаченко и др.), и к широкому кругу объектов – машин металлургических заводов: вагоноопрокидывателям (П.Я. Скичко), манипуляторам и кантователям блюмингов (Э.А. Смоляницкий) и главным приводам блюмингов (Е.Я. Подковырин), подающим аппаратам пыльгерстанов (А.М. Иоффе), их механизмам подачи (И.Б. Листопадов), механизмам станов холодной прокатки труб (А.С. Ткаченко, Б.М. Климовский, Ю.И. Черевик, А.Г. Бондаренко и др.), пластинчатым контейнерам (В.Н. Кривобоков), линиям приводов широкополосных станов горячей (В.А. Вернеев) и холодной (И.И. Леера) прокатки и др.

Таким образом сложилось первое научное направление – динамическое исследование металлургических машин. Оно продолжало развиваться усилиями представителей школы во втором поколении: А.Г. Скорохода (приводы колесопрокатного стана), В.Д. Петрова (ли-



нии главного привода станов холодной прокатки листа), А.А. Чернышева (трансмиссии блочных клетей), И.Г. Муравьевой (нажимные устройства брикетных прессов), А.В. Праздниковой (клапаны с гидроприводом для загрузочных устройств), Н.В. Михайловского (гидромеханический экспандер).

Четко просматривалось единство методологии этого направления – математическое моделирование механических (в широком смысле) систем, применение машинного (сначала на АВМ, в дальнейшем на ЦВМ) моделирования. Первоначально методы машинного моделирования применительно к АВМ развивали А.Н. Ленский и В.И. Большаков, затем началась разработка методов цифрового моделирования (Н.И. Подобедов), в дальнейшем исследовалась возможность практической реализации новой идеи о "вшивании" готовых решений в моделируемый процесс (К.П. Лопатенко).

Еще одной существенной и преемственной стороной методологии школы стало широкое использование впервые в практике экспериментальной информации о работе машин, полученной в промышленных условиях, для идентификации математических моделей. Как отмечал один из участников семинара О.Н. Кукушкин: "...еще и понятия такого не было, а мы уже умели по осциллограммам представить себе структуру адекватной модели (порядок системы дифференциальных уравнений, характер нелинейностей) и ее параметры (собственные частоты, приведенные массы)".

В дальнейшем круг объектов исследований и класс описываемых систем был значительно расширен. Были разработаны математические модели электромеханических систем (В.И. Большаков и др.), очень сложная даже для настоящего времени модель системы машин – чистовой группы клетей непрерывного мелкосортного стана (В.А. Чигринский, М.П. Топоровский), разработка вопросов (в методическом плане) от объекта "прокатные станы" распространилась на объект "доменные печи" (Б.И. Мирошниченко, Н.Н. Изюмский, С.Н. Лукьянец). Таким образом, решая задачи автоматизации машин и процессов, было выработано второе научное направление – автоматизация технологического металлургического оборудования.

Наиболее активно решались прикладные задачи на стыке этих двух направлений, что требовало комплексного подхода, гарантирующего всесторонний, системный анализ задачи. В этом направлении работали В.С. Егоров (безупорная резка слябов), О.Н. Кукушкин (системы регулирования силовой петли), Б.И. Мирошниченко (управление порезкой на непрерывном мелкосортном стане – НМС), В.В. Кукушкин (управление механизмами хвостового участка НМС), В.М. Лошкарев (приводы НМС).

Развивая таким образом комплексное и всестороннее исследование металлургических машин, школа оказалась достаточно подготовленной для основания третьего научного направления – системного анализа технологического металлургического оборудования, или, как его называл С.Н. Кожевников, "научных основ синтеза систем машин".

Здесь на первый план вместо динамических характеристик машин выдвигались вопросы их производительности и надежности. Поскольку эксплуатационные характеристики машин являются результатом взаимодействия машин в технологической линии в процессе ее функционирования, было понято, что необходимо исследование всего комплекса в целом.

Первые результаты в этом направлении были получены Е.А. Козаченковым (доменное оборудование), О.Н. Кукушкиным и Ю.А. Богачевым применительно к надежности прокатных станов, Е.Я. Клоцманом по производительности систем шихтоподачи доменных печей, В.И. Головки, А.Н. Городецким по их надежности. Широкое обобщение эти исследования нашли в монографии А.В. Праздникова, Е.Я. Клоцмана и В.И. Головки "Системы шихтоподачи в доменном производстве" (1980), докторских диссертациях О.Н. Кукушкина и В.И. Большакова.

Следствием всех научных изысканий школы С.Н. Кожевникова стала формулировка методологии системного анализа, характеристики объекта исследования.

Современное металлургическое оборудование объединено в технологические линии, которые производят переработку заготовки в продукт, или транспортные системы, транспортирующие сырье к доменным печам, конверторам. Технологические линии и транспортные системы состоят из участков, соединенных буферами, разветвлениями либо преобразователями потока материала. Участки состоят из последовательно расположенных машин.

Процесс функционирования технологических линий и транспортных систем включает подпроцессы, а именно, циклическую (нормальную) работу; отказы и восстановления; плановое техническое обслуживание; переходные процессы в линии приводов; квазистационарные случайные колебания высоких частот. Первые три подпроцесса определяют производительность технологических линий (или пропускную способность транспортных систем), другие – качество продукции технологических линий, нагрузки в машинах. Эти высокочастотные подпроцессы изучаются в первом научном направлении, связь третьего со вторым выявилась по линии анализа подпроцесса циклической работы как объекта управления. Таким образом, третье научное направление школы – системный анализ – тесно связано с двумя первыми научными направлениями – динамикой и автоматизацией металлургического оборудования.

Что касается самого метода исследования, то он заключается, в первую очередь, в декомпозиции процесса функционирования путем его отображения на плоскость временных интервалов, а затем в ряде последовательных операций: 1) анализе циклической работы на основе циклограмм, статистического моделирования или некоторых аналитических вероятностно-статистических методов; 2) анализе подпроцесса отказов и восстановлений путем отбора и обработки данных об отказах промышленного оборудования, а также расчетов методами теории

надежности или статистическим моделированием; 3) анализе высоко-частотных подпроцессов методами теории случайных процессов. Все это дает возможность получить: оценки цикловой производительности технологических линий или пропускной способности транспортных систем, оценки нужной емкости буферов; коэффициент готовности и другие характеристики надежности; достоверную информацию о точности прокатки, о нагрузках в машинах.

Как видно, при решении задач третьего научного направления добавились принципиально новые и оригинальные методы исследования, в основном вероятностно-статистические. Однако в основе всего метода в целом по-прежнему оставалось математическое моделирование металлургического оборудования и экспериментальное его исследование с целью идентификации.

Ясность в представлениях о динамических процессах будущих машин позволила принимать новые обоснованные конструктивные решения, резко повысившие технический уровень многих машин и позволившие защитить принятые решения в патентном отношении. В результате были проведены такие актуальные исследования, как модернизация станов холодной прокатки труб с разработкой и внедрением нового уравнивающего устройства и привода (патентование основных разработок в ряде передовых в индустриальном отношении стран мира, таких как Япония, Италия, Франция, Швеция, ФРГ, США и др.); модернизация и разработка новых подающих аппаратов пильгер-станов с внедрением на станах Днепропетровского завода им. К. Либкнехта и Челябинского трубопрокатного; исследование динамики обжимных реверсивных станов с разработкой оптимальных режимов работы. Работа внедрена на слябинге металлургического завода "Азовсталь" и на блюминге и непрерывном заготовительном стане Енакиевского металлургического завода; использование резино-металлических соединений для снижения интенсивности динамических процессов в системах, содержащих крупные вращающиеся барабаны и универсальные шпиндели; разработка и внедрение системы автоматической стабилизации режима прокатки реализованы на непрерывном мелкосортном стане завода "Криворожсталь".

Воспитанники школы С.Н. Кожевникова в 1944–1962 гг. стали крупными специалистами в области механики тяжелых машин. Среди них: член-корреспондент АН Украины Ф.К. Иванченко и академик АН Украины В.Н. Потураев, начавшие научную деятельность с исследования динамических процессов в главных линиях прокатных станов; член-корреспондент АН Украины А.В. Праздников, развивший динамику подающих аппаратов пилигримовых станов. Длительная и плодотворная работа связывала Сергея Николаевича с его учениками, ставшими впоследствии докторами наук, – Л.И. Цехновичем (исследование неустановившихся динамических процессов в машинах с электрическим приводом и гидромеханическими системами), А.С. Ткаченко (исследования работы непрерывных прокатных станов), О.Н. Кукушкиным (взаимодействие машин в технологической линии в процессе ее

функционирования), В.И. Большаковым (системы загрузки доменных печей) и др. Вокруг Сергея Николаевича и его авангарда сплотились молодые и энергичные аспиранты и соискатели, ставшие в дальнейшем кандидатами наук: А.М. Йоффе, Б.М. Климовский, А.Ф. Крисанов, Г.М. Кухтевич, А.Н. Ленский, И.И. Леера, И.Б. Листопадов, Б.И. Мирошниченко, А.П. Несеров, В.Ф. Пешат, Д.П. Притькин, А.Н. Силич, П.Я. Скичко, Е.Г. Скуратов, А.Н. Слесарев, Э.А. Смоляницкий, В.А. Чигринский и многие другие.

После переезда С.Н. Кожевникова в Киев созданная им научная школа продолжала успешно функционировать и развиваться по разным направлениям, но в соответствии с методологией, выработанной С.Н. Кожевниковым как создателем и лидером этой школы. Как прежде, крупные научные разработки были ориентированы на использование в технике, и их реализация сопровождалась созданием оригинальных механизмов на уровне изобретений и патентов.

К этому времени школа стала зрелым коллективом единомышленников, способным к самостоятельному функционированию, количественному и качественному росту. Здесь продолжали развиваться новые направления под руководством тех учеников Сергея Николаевича, которые сформировались в крупных ученых и вели подготовку научных кадров – А.В. Праздникова, В.Н. Потураева, А.С. Ткаченко, О.Н. Кукушкина. Находясь в Киеве, С.Н. Кожевников по-прежнему поддерживал творческие научные контакты со своими диспропетровскими учениками, продолжал руководить многими исследованиями, аспирантами и соискателями. Сотрудничество оставалось тесным и весьма плодотворным, были опубликованы многочисленные совместные статьи и ряд монографий: "Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин" (1973 г., С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат); "Оборудование цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками" (1974 г., С.Н. Кожевников, А.В. Праздников и др.).

В 1968 г. за работы, связанные с созданием высокопроизводительных универсальных станов холодной прокатки труб с комплексом новых механизмов, Сергею Николаевичу и его ученикам Б.М. Климовскому, А.В. Праздникову, А.С. Ткаченко, А.А. Шведченко в составе коллектива авторов была присуждена Государственная премия СССР. Новая конструкция стана холодной прокатки труб, разработки основных механизмов и узлов которого защищены авторскими свидетельствами и патентами Италии, США, Франции, Швеции, ФРГ, была результатом многолетних исследований машин периодического действия, проведенных под руководством С.Н. Кожевникова. В отличие от других стан обладал возможностью автоматической работы при непрерывной прокатке, высокой надежностью и долговечностью механизмов, повышенной скоростью прокатки. Стан значительно превосходил лучшие зарубежные образцы, был конкурентноспособным. Лицензия на его производство была продана СССР итальянской фирме "Ипочети", несколько станов было закуплено Японией.

Киевский период деятельности С.Н. Кожевникова начался в 1962 г.

с работы в Институте инженеров гражданской авиации, где он заведовал кафедрой теоретической механики и теории механизмов и машин. Здесь в первые же годы Сергей Николаевич приступил к руководству аспирантами, организовал и возглавил научный семинар при кафедре, который впоследствии перерос в Киевский семинар по теории машин и механизмов. Активными членами этого семинара стали многие ученики Сергея Николаевича (Н.М. Долгов, А.А. Цымбалюк, В.С. Манзий, Е.Г. Кузовков, В.И. Шурпа, В.И. Клыков, В.Ф. Ярошенко, В.Э. Летоपुर, А.П. Погребняк, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко, Н.П. Барабан, Е.Я. Антонюк, А.И. Алиджанов, Ю.М. Данилецкий, В.М. Матиясевич, С.В. Зубарев, Ю.Г. Гранаткин, И.А-Г. Нурибеков), а также признанные ученые – А.Н. Боголюбов, Ф.К. Иванченко, Я.И. Есипенко, М.И. Хрисанов, Е.М. Хаймович, В.К. Кулик, А.Н. Голубенцев, Г.Б. Ковнеристов. В его работе участвовали и выступали с докладами ученики Кожевникова по днепропетровской школе.

Выработанная в Днепропетровске научная концепция получила дальнейшее развитие и углубление, расширилась область объектов исследования. Усилия учеников ориентировались на проблемы импульсных систем (В.Э. Летоपुर), динамики механизмов, расположенных на подвижном деформируемом основании (Н.М. Долгов), исследовании механизмов с динамическими связями (В.И. Шурпа), т.е. механизмов, в которых в качестве связи используется жидкость, магнитный порошок, раствор со взвешенными частицами и т.д.

Разрабатывались вопросы статистической динамики транспортных систем (Е.Я. Антонюк) и динамики механизмов с заданным относительным движением звеньев (Е.Г. Кузовков). В содружестве с Институтом зоологии АН Украины исследовались вопросы биомеханики живых организмов (С.Ф. Манзий, В.И. Клыков). По-прежнему уделялось значительное внимание исследованию комбинированных систем, в основу которого было заложено уточненное математическое описание переходных процессов в электрических, гидравлических и других подсистемах машинного агрегата (А.И. Ткачук).

На семинаре докладывались работы (оформленные впоследствии в докторские и кандидатские диссертации) научными сотрудниками из Алма-Аты, Новосибирска, Фрунзе (ныне Бишкек), Ташкента, Тбилиси, Москвы, Запорожья, Челябинска, Владимира, Днепропетровска, Маргилана и др.

В период работы в Украинской сельскохозяйственной академии (УСХА) С.Н. Кожевников совместно с учениками продолжал развивать исследования по отмеченным направлениям, в том числе по динамике металлургических машин. Вместе с тем, аспиранты Н.П. Барабан, О.И. Литвинов, Э.С. Барган были ориентированы на работу в области сельскохозяйственного машиностроения, связанную с проблемами локализации источников динамических возмущений и снижения интенсивности колебательных процессов в динамических системах, а также упрощением стереометрии трансмиссии сложных в кинематическом отношении машин, решения вопросов структуры механизмов. Силами

исследовательского сектора и соискателей кафедры сопротивления материалов УСХА под руководством С.Н. Кожевникова и при активном участии Н.С. Яковлева была выполнена модернизация двух свеклоуборочных комбайнов КСТ-3 с заменой сложной разветвленной механической трансмиссии простыми кинематическими цепями с локально расположенными гидродвигателями. По сравнению с серийной моделью были существенно снижены динамические нагрузки, шум и вибрации, надежно решена задача защиты механизмов от перегрузок. Работа в значительной мере предвосхитила тенденцию гидрофикации тяжелых сельскохозяйственных комбайнов, отчетливо проявившуюся впоследствии, и подтвердила ее техническую реализуемость.

В период работы в Украинской сельскохозяйственной академии, а затем в Академии наук Украины пристальное внимание С.Н. Кожевникова и его сотрудников привлекли вопросы структуры механизмов, притом не только в теоретическом плане, т.е. в вопросах классификации и структурных образований, а в смысле определенного критерия надежности создаваемой машины. При участии С.Н. Кожевникова, А.П. Погребняка, Э.С. Баргана, В.В. Коцюрубы, Е.Я. Антонюка был разработан и внедрен отраслевой стандарт Госкомсельхозтехники (ОСТ 70.2.31-80) по методам структурной оценки механизмов сельхозмашин, используемый при диагностике отказов, совместно с А.И. Ткачуком подготовлены развернутые методики структурного анализа и синтеза, в которых кинематические пары впервые наделяются свойствами переменной структуры.

В эти годы география школы Сергея Николаевича значительно расширилась, в нее вошли аспиранты из зарубежных стран: Данг-Тхе-Гью (Вьетнам), Ц.М. Савов (Болгария), Шербаджи Мохаммед Рашид (Сирия), которые развивали вопросы динамики различных систем с упругими звеньями при импульсном случайном и других видах возбуждения. Проходили научную подготовку и успешно ее завершили аспиранты и соискатели из Казахстана – Т.И. Омаров, Узбекистана – А.И. Алиджанов, РСФСР – П.Д. Перфильев. В их работах были развиты некоторые вопросы динамики металлургических и сельскохозяйственных машин, а также механизмов с карданными передачами. Совместно с П.Д. Перфильевым в 1972 г. опубликована монография "Карданные передачи". Другая монография, посвященная исследованию и проектированию передач зубчатыми армированными ремнями, подготовлена вместе с А.П. Погребняком.

Часть проблем, связанных с созданием тяжело нагруженных клиноремных вариаторов для привода ходовой части мобильных машин, в том числе сельскохозяйственных комбайнов и их рабочих органов, были решены в исследованиях учеников С.Н. Кожевникова, выполненных в Институте механики АН Украины (А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко). В них нашли совмещение разработки по динамике и структуре механизмов, предложены принципиально новые схемы для вариаторов повышенной тяговой способности и надежности. Дана

оценка влияния погрешностей изготовления ремней на динамику системы, учтены нелинейные свойства фрикционного взаимодействия ремней со шкивами. Одновременно выполнялись теоретические и экспериментальные исследования по динамике другого типа бесступенчатых передач – инерционно-импульсных вариаторов скорости (В.Э. Летоपुर, Е.Я. Антонюк). Впервые математические модели таких вариаторов сформированы в законченном виде как динамические системы переменных структур, переходы между которыми регулируются условиями в форме неравенств, связывающих текущую кинематику и динамическую нагруженность.

Кроме отмеченных, выполнялись работы по динамике металло-режущих станков и синтезу уравнивающих устройств механизмов поворота шпиндельных блоков токарных автоматов (В.М. Матия-севич).

Большое значение С.Н. Кожевников с учениками придавал разработке методов унификации экспериментального исследования машин, особенно тяжелых и уникальных, с целью получения сопоставимых данных экспериментов, выполненных различными исследователями на однотипных машинах, и накопления сведений о статистике динамических возбуждений, нагруженности механизмов, эволюции повреждений и других характеристик объектов. Эти работы осуществлялись под эгидой Международной федерации по теории машин и механизмов.

Двое из учеников киевского периода деятельности С.Н. Кожевникова – А.А. Цымбалюк и Е.Г. Кузовков – стали докторами наук.

Для школы С.Н. Кожевникова по-прежнему было характерно проникновение в тонкости протекающих физических процессов в машинах, учет влияния на динамическую нагруженность и кинематическую точность упругости звеньев и диссипативных свойств, особенностей геометрической структуры и погрешностей изготовления и сборки механизмов, различных нелинейностей, элементов переменной структуры, свойств динамической подсистемы двигателя и других элементов комбинированных систем. Она обогатила науку о машинах многими весомыми результатами, дала ей несколько поколений ученых и в этом ее жизненная сила, объяснение ее широкого признания в нашей стране и за рубежом.

Большую научную помощь и содействие оказал Сергей Николаевич В.К. Кулику при подготовке и защите им докторской диссертации в области прецизионных механизмов.

О годах работы под руководством Сергея Николаевича Кожевникова его ученики вспоминают очень часто. Вот как пишет о них Н.М. Долгов.

«Мне довелось работать вместе с С.Н. Кожевниковым, под его руководством или рядом с ним, начиная с 1963 г. и до последних дней его жизни.

Это были годы весьма интенсивного развития исследований в области динамики механизмов, машин, сооружений вообще и систем на



**С.Н. Кожевников в рабочем кабинете**

подвижных деформируемых основаниях в частности. Именно в эти годы появились крупные монографии в этой области – А.П. Филиппова "Колебания механических систем"; авторского коллектива под руководством И.В. Ананьева "Колебания упругих систем в авиационных конструкциях и их демпфирование"; С.Н. Кожевникова "Динамика машин с упругими звеньями", солидные справочные пособия: "Вибрации в технике" в 6-и томах (под редакцией В.Н. Челомея), "Механизмы" (под редакцией С.Н. Кожевникова), прекрасные учебники по теории механизмов и машин И.И. Артоболевского, С.Н. Кожевникова и других авторов, включавшие элементы исследований, в том числе из области динамики, многочисленные публикации в журналах, сборниках и других изданиях.

От тех лет совместной работы у меня в душе сохранились впечатления исключительной обязательности Сергея Николаевича во всех делах, его высокой принципиальности, требовательности, прежде всего к себе, а затем и ко всем работающим с ним, исключительной профессиональной эрудиции и интуиции, с одной стороны, и основательности, фундаментальности всех выполняемых исследований – с другой.

Среди выполненных под руководством Сергея Николаевича работ



основное место у меня занимали тогда исследования из области динамики систем на подвижных деформируемых основаниях. При этом выполнялось немало исследований и типа "заказных" из различных областей техники, на первый взгляд сторонних по отношению к главной тематике, но, в действительности, при более основательном рассмотрении, как правило, вписывавшихся в нее. Всего у нас с Сергеем Николаевичем около двадцати пяти совместных публикаций по результатам этих исследований. Среди работ в этой области, пожалуй, особого внимания заслуживали и заслуживают до сих пор работы, связанные с некоторыми характерными особенностями систем на подвижных деформируемых основаниях, проявляющимися в их динамике. Это прежде всего: – зафиксированные экспериментально (и не только в нашей лаборатории, но и другими исследователями на натурной технике) колебания одной и той же собственной формы континуальных, дискретно-континуальных моделей на двух существенно различных частотах; – появление колебаний двух смежных собственных форм в таких же моделях при несущественных вариациях критической частоты (практически на одной и той же частоте); – широкое развитие в исследуемых системах колебаний так называемых неполных (или дробных) форм (когда узлы колебаний не совпадают с опорными сечениями колеблющихся звеньев); изучение возможностей качественной и количественной оценки параметров таких колебаний и др.

Некоторые косвенные теоретические исследования, подтверждающие экспериментальные данные, были получены вскоре после многократных повторений эксперимента, их результаты изложены в открытой печати.

Дальнейшее теоретическое обоснование приведенных экспериментальных результатов, в том числе один из предельных вариантов решения для колебаний неполных форм, можно найти в докладах на Международном конгрессе ИГОММ (Мадрид, 1987), Международном конгрессе по инженерной механике испаноязычных стран (Севилья, 1993), в журнале "Прикладная механика" и других публикациях.

Работа, конечно, составляла основной смысл и содержание жизни Сергея Николаевича. Но я хотел бы отметить, что Сергей Николаевич умел также активно отдыхать. Мне приходилось бывать с ним и другими коллегами по работе на берегах Днепра, Десны, Припяти. При этом Сергей Николаевич не прочь был и мяч в руках подержать, и с лопатой в руках в поисках рыбачьей наживки в земле покопаться, и топориком поработать, и в поисках грибов по лесу побродить. На отдыхе он был также активен и энергичен, как и в труде.

А учитывая, что Сергей Николаевич обладал уникальным запасом информации из самых разных областей жизни, на отдыхе между делом от него можно было услышать множество рассказов, в том числе помогающих выстроить в логическую цепочку наши часто весьма разноречивые познания как из области науки, так и жизни вообще. Эти

рассказы и советы я часто вспоминаю и теперь и по возможности пользуюсь ими в своей работе...»

Л.И. Цехнович вспоминал: "Сергей Николаевич был по заслугам избран в члены-корреспонденты АН Украины. Однако действительным членом Академии он не стал, несмотря на совершенно очевидные таланты, научные достижения и международную известность, несмотря на то, что по сравнению с другими, удостоенными этой чести, он также вполне ее заслуживал.

Одну из причин этой несправедливости я вижу в его независимом характере, в том, что он был лишен духа карьеризма и не хотел кланяться. Его таланты, его научная принципиальность, которая всегда сочеталась с доброжелательностью, его острый интерес к новому и нужному промышленности, его колоссальная работоспособность сделали его образцом для всех, кому выпало счастье у него учиться и с ним работать".

Вот воспоминание еще одного из учеников Сергея Николаевича – Т.И. Омарова.

«Я благодарен судьбе за то, что она свела меня с Сергеем Николаевичем Кожевниковым, что украсило мою жизнь, сделало ее интересной, определило будущее. В результате непосредственного общения с Сергеем Николаевичем, посещения его лекций и заседаний руководимого им Киевского научного семинара по теории машин и механизмов во мне выработалась потребность находить новое в привычных вещах и понятиях, желание совершенствоваться. Ориентируясь на него, хотелось стать образованней, культурней, профессиональней.

Стиль его общения с людьми особенно ощущали те, кто подобно мне не имели еще достаточной теоретической подготовки. Он внимательно смотрел нашу писанину, с чем-то соглашался и мягко корректировал остальное, порой составлявшее почти всю статью. Позднее мы поняли, что делалось это не для сохранения наших "бесценных" опусов, а чтобы не погасить в нас появившийся интерес к научной работе. Это резко контрастировало с тем, как вел себя Сергей Николаевич с высокостепенными учеными, когда чувствовал в них научную фальшь. Я благодарен Сергею Николаевичу за то, что он познакомил меня со многими интересными людьми, своими сотрудниками и близкими, с которыми я подружился на всю жизнь. Так Украина стала мне близкой и родной, несмотря на расстояние и политические перемены.

С 1977 г. Сергей Николаевич часто бывал в Алма-Ате, и для многих это был настоящий праздник. Происходило оживление научной жизни города, читались интересные лекции, проводились беседы, встречи.

Несколько слов об интернационализме Сергея Николаевича. Дело не только в его учениках из зарубежных стран и бывших республик Советского Союза. Бывая с ним в отдаленных казахских аулах, я видел, с каким интересом и симпатией он относился к тому, что веками создавалось народной мудростью, совершенно игнорируя некоторые

бытовые мелочи, которые вызывали чувство отчуждения у некоторых "интеллигентов".

Сергей Николаевич был не только внешне красивый человек. Он красиво работал, говорил, одевался. Любое общение с ним превращалось в ярко запоминающееся событие. Огромное научное наследие ученого продуктивно используется и всегда будет служить людям. Хотелось бы, чтобы не были преданы забвению его педагогическое мастерство и те общечеловеческие ценности, которыми обладал он.

Мы долго будем ощущать тепло и могучий интеллект большого человека и выдающегося ученого».

## **Основные даты жизни и деятельности С.Н. Кожевникова**

- 1906, 23 сентября** – в г. Екатеринославе (Днепропетровске) родился Сергей Николаевич Кожевников.
- 1922** – окончил Екатеринославскую классическую гимназию, преобразованную в 1918 г. в Единую трудовую школу.
- 1922–1925** – ученик слесаря фабрично-заводского училища при Днепропетровском металлургическом заводе.
- 1925–1930** – студент подготовительного, а затем физико-технического отделения по механико-математической специальности Московского индустриально-педагогического института.
- 1930–1934** – аспирант кафедры технической механики, ассистент, руководитель лаборатории кафедры деталей машин и сопротивления материалов Московского индустриально-педагогического института. Выбор по совету Г.Э. Проктора темы научной работы: динамика металлорежущих станков.
- 1932–1937** – сотрудник Московского научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС) по совместительству.
- 1933** – публикация первых научных работ: цикла статей по технической механике "Беседы с машиностроителем".
- 1934–1941** – доцент кафедры прикладной механики Московского авиационного института.
- 1937** – в развитие идей Л.В. Ассура прочел курс лекций "Структура и кинематический анализ механизмов" в Московском институте повышения квалификации инженеров; присвоена ученая степень кандидата технических наук по совокупности работ в области динамики металлорежущих станков.
- 1939** – издание монографии "Эпициклические передачи".
- 1940** – защита в Московском высшем техническом училище докторской диссертации на тему "Динамика неустановившихся процессов в машинах".
- 1942** – утверждение в звании профессора.
- 1941–1943** – заведующий кафедрой теории механизмов и машин Московского авиационного института, эвакуированного в Алма-Ату; работа над оборонной тематикой, а также в области кинематики и динамики швейных машин.
- 1943, ноябрь** – возвращение в Москву.
- 1943–1944** – заведующий кафедрой теории механизмов и машин и научно-

исследовательским отделом Московского авиационно-технологического института.

- 1944** – возвращение в Днепропетровск, город детства и юности.
- 1944–1960** – заведующий кафедрой теории механизмов и машин Днепропетровского металлургического института; создание ставшей одной из лучших на Украине лаборатории по теории механизмов; основание Днепропетровского семинара по теории механизмов и машин.
- 1946** – награждение медалью "За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг."
- 1947–1953** – депутат Октябрьского районного совета г. Днепропетровска.
- 1948–1961** – издание с учениками ряда монографий: "Механика швейных машин" (с М.М. Пруслиным, 1948 г.); "Исследование работы передвижного бокового вагонопрокидывателя" (с П.Я. Скичко, 1958 г.); "Аппаратура и механизмы гидро-, пневмо- и электроавтоматики металлургических машин" (с В.Ф. Пешатом, 1961 г.).
- 1949** – награждение орденом Трудового Красного Знамени; издание учебника "Теория механизмов и машин", получившего всеобщее признание, впоследствии переиздававшегося четыре раза на русском языке, а также на польском, чешском, венгерском и китайском языках.
- 1950** – издание с Я.И. Есипенко, Я.М. Раскиным справочника "Элементы механизмов", в котором описано более 2500 механизмов и их элементов, классифицированных по функциональным признакам.
- 1951** – избрание членом-корреспондентом АН Украины по специальности "Автоматизация металлургического оборудования".
- 1953–1957** – депутат Городского совета г. Днепропетровска.
- 1953** – награждение вторым орденом Трудового Красного Знамени.
- 1954** – участие в работе I Всесоюзного совещания по основным проблемам теории механизмов и машин (Москва), выступление с программным докладом "Основные проблемы теории металлургических машин и оборудования".
- 1954–1962** – заведование отделом автоматизации металлургического оборудования Института черной металлургии АН Украины.
- 1956–1963** – чтение курса лекций по автоматизации металлургического производства в Фрайбергской горной академии; посещение США в составе делегации металлургов; посещение Бельгии по линии Государственного комитета по науке и технике СССР; участие в Международном симпозиуме по теории механизмов в (Ахене, 1958 г.).
- 1958** – председатель секции динамики машин II Всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов (г. Москва).
- 1958–1962** – член пленума областного совета профсоюзов Днепропетровской области Украины.
- 1961** – издание монографии "Динамика машин с упругими звеньями"; председатель секции динамики машин III Всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов (г. Москва).
- 1962** – переезд в г. Киев.
- 1962–1968** – заведующий кафедрой теории механизмов и машин и теорети-

- ческой механики Киевского института инженеров гражданской авиации; основание Киевского семинара по теории машин и механизмов; тематику его исследований составило важное направление – динамика машин с реальными физическими свойствами (упругими звеньями, деформируемым основанием и др.).
- 1964** – председатель секции динамики машин IV Всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов (г. Киев).
- 1965** – участие в работе I Международного конгресса по теории механизмов и машин (г. Варна, Болгария) и II съезда по теоретической и прикладной механике (г. Москва).
- 1967** – председатель секции динамики машин V Всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов (г. Сухуми).
- 1968** – присвоение звания лауреата Государственной премии СССР за создание и внедрение в промышленность гаммы высокопроизводительных универсальных станов холодной прокатки труб (с учениками А.В. Праздниковым, А.С. Ткаченко, Б.М. Климковским и группой конструкторов и заводских работников).
- 1968–1970** – заведующий кафедрой сопротивления материалов Украинской сельскохозяйственной академии.
- 1970–1978** – заведующий сектором механики машин и отделом теории машин и механизмов Института геотехнической механики АН Украины (Киевский филиал).
- 1970** – председатель секции динамики машин VI Всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов (г. Ленинград).
- 1971** – участие в работе III Международного конгресса по теории машин и механизмов и II Генеральной ассамблеи IFTOMM (г. Купари, Югославия); избрание членом Исполнительного комитета IFTOMM (комиссия "С" по связи науки с промышленностью).
- 1972** – член оргкомитета, председатель секции теории машин и механизмов IV съезда по теоретической и прикладной механике (г. Киев).
- 1973** – проведение цикла исследований по расчету гидравлического и пневматического приводов, завершившегося изданием монографии "Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин" (совместно с В.Ф. Пешатом).
- 1974** – председатель секции динамики машин VII Всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов (г. Тбилиси).
- 1974** – председатель оргкомитета Международного симпозиума по динамике тяжелых машин (г. Донецк).
- 1974–1978** – издание совместно с учениками монографий: "Оборудование цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками" (с А.В. Праздниковым и др.) и "Карданные передачи" (с П.Д. Перфильевым).
- 1976** – присвоение звания заслуженного деятеля науки Украины.
- 1977** – член оргкомитета, председатель секции динамики машин I съезда по теории машин и механизмов (г. Алма-Ата).

- 1978–1988 – заведующий отделом теории машин и механизмов Института механики АН Украины.
- 1979 – опубликование труда "Основание структурного синтеза механизмов" – результат глубокого и многолетнего исследования вопросов корректного структурообразования механизмов.
- 1980 – участие в работе V съезда по теоретической и прикладной механике (г. Москва).
- 1982 – член оргкомитета, руководитель секции динамики машин II съезда по теории машин и механизмов (г. Одесса).
- 1983 – избрание почетным членом Международной федерации по теории механизмов и машин.
- 1986 – опубликование монографии "Динамика нестационарных процессов в машинах".
- 1988, 29 сентября – кончина Сергея Николаевича Кожевникова.

# Указатель трудов С.Н. Кожевникова

## Монографии

1. Эпициклические передачи. М., Л.: Машгиз, 1939. 90 с.
2. Строгальные станки // Металлорежущие станки: В 2 ч. / Под ред. А.В. Слепака. М.: Машгиз, 1940. С. 5–47.
3. Механика швейных машин: (Учеб. пособие для вузов легкой пром-сти) / С.Н. Кожевников, М.М. Пруслин. М.; Л.: Гизлегпром, 1948. 316 с.
4. Теория механизмов и машин: (Учеб. пособие для втузов). Киев; М.: Машгиз. Укр. отд-ние, 1949. 448 с.
5. Элементы механизмов / С.Н. Кожевников, Я.М. Раскин, Я.И. Есипенко, А.П. Иванов / Под ред. С.Н. Кожевникова. М.: Оборонгиз, 1950. 719 с.
6. Ocelové konstrukce: Přiručka prokonstruktéry / S. Kozevnikov, F. Zaruba, E. Sefi et al. Praha: Průmyslove vyd-vi, 1950. 310 s.
7. A mechanizmusok és gépek elmélets: Rész 1–2 / Ford. H. Jyörgy. Budapest: Tankönyvkiado, 1952. Rész. 1 / Sr. N. Kozsevnikov. 295 l.
8. A mechanizmusok és gépek elmélets: Rész 1–2 / Ford. H. György. Budapest: Tankönyvkiado, 1953. Resz 2 / Sr. N. Kozsevnikov. 300–561 old.
9. Theorie mechanismu a stroju. Praha, 1953. 428 s.
10. Теория механизмов и машин: (Учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов). 2-е изд., испр. и доп. Киев: Машгиз. Укр. отд-ние, 1954. 639 с.
11. Elementy mechanizmw / Pod red. S.N. Kozewnikowa. Warszawa, 1954. 544 s.
12. Элементы механизмов / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин; Под ред. С.Н. Кожевникова. 2-е изд. испр. и доп. М.: Оборонгиз, 1956. 1078 с.
13. Teoria mechanizmw i maszyn. Warszawa, 1956. 636 s.
14. Исследование работы передвижного бокового вагонопрокидывателя / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко. Киев. Изд-во АН УССР, 1958. 36 с.
15. Пути автоматизации металлургического оборудования. Киев: Изд-во АН УССР, 1958. 14 с.
16. Теория механизмов и машин: (Кит. пер.). Пекин. 1958. 592 с. (1-я и 2-я книги).
17. Mechanizmy / S.N. Kozevnikov, J.I. Jesipenko, J.M. Raskin; Rus. orig. prel. inr. V. Bárdor. Bratislava: Slov. vyd-vo techn. lit.; Praha: Státni nakl. techn. lit., 1960. 1082 s.
18. Динамика машин с упругими звеньями. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. 160 с.
19. Аппаратура и механизмы гидро-, пневмо- и электроавтоматики металлургических машин: (Учеб. пособие для металлург. орг. и ин-тов УССР). Киев: Машгиз. Юж. отд-ние, 1961. 550 с.



20. Элементы механизмов: (Кит. пер.) / С.Н. Кожевников, Е.Я. Есипенко, Я.М. Раскин. Пекин, 1964. 1116 с.
21. Механизмы: Справочник. С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин и др.; Под ред. С.Н. Кожевникова. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1965. 1058 с.
22. Теория механизмов и машин: (Учеб. пособие для студентов машиностроительных вузов). 3-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 1969. 583 с.
23. Механизмы: (Исп. пер.) / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин. Барселона, 1970.
24. Теория механизмов и машин: (Конспект лекций для студентов мех. специальностей веч. и заоч. отд-ний втузов): В 2 ч. / С.Н. Кожевников, Я.М. Раскин. Днепропетровск: МВ и ССО УССР; Днепропетр. мет. ин-т, 1971. Ч. 1: Структура и кинематика механизмов. 165 с.
25. Теория механизмов и машин: Конспект лекций для студентов мех. специальностей веч. и заоч. отд-ний втузов: В 2 ч. Днепропетровск: МВ ССО УССР; Днепропетр. мет. ин-т, 1972. Ч. 2: Динамика машин. 120 с.
26. Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат. М.: Машиностроение, 1973. 359 с.
27. Теория механизмов и машин: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. 4-е изд., испр. М.: Машиностроение, 1973. 591 с.
28. Оборудование цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе и др.; Под ред. С.Н. Кожевникова. М.: Металлургия, 1974. 254 с.
29. Механизмы: Справ. пособие / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин; Под ред. С.Н. Кожевникова. 4-е изд., перераб и доп. М.: Машиностроение, 1976. 784 с.
30. Карданные передачи / С.Н. Кожевников, П.Д. Перфильев. Киев: Техніка, 1978. 263 с.
31. Основание структурного синтеза механизмов. Киев: Наук. думка, 1979. 231 с.
32. Конструирование и расчет механизмов с зубчатыми ременными передачами: Справ. пособие / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк. Киев: Наук. думка, 1984. 112 с.
33. Динамика нестационарных процессов в машинах. Киев: Наук. думка, 1986. 286 с.

#### **Статьи, авторские свидетельства, патенты**

#### **1933**

34. Основные понятия о машине: Беседы с машиностроителем: Цикл бесед по технической механике // За сов. машину. 1933. № 4. С. 34–35; № 5. С. 40–43; № 6. С. 39–40; № 7. С. 39–41; № 10. С. 40–42; № 11. С. 45–47; № 13. С. 35–37.

#### **1934**

35. Работа фрикционной передачи с регулируемым числом оборотов // Оргинформ. ОНТИ–НКТР СССР. 1934. № 11. С. 17–20.
36. Динамика разгона и торможения станков // Отчет ЭНИМС. М., 1934. С. 15–27.

## 1935

37. Динамические явления при разгоне станков, имеющих упругое звено в приводе // Вестн. металлопромышленности. 1935. № 12. С. 16–26.
38. Фрикционные муфты с разжимными и упругими кольцами // Станки и инструмент: Техн.-произв. журн. 1935. № 7. С. 16–19.

## 1937

39. Вибрации траверс продольно-строгальных станков // Станки и инструмент: Техн.-произв. журн. 1937. № 5. С. 3–9.
40. Применение теории колебаний в обработке металлов резанием // Сб. докл. Конф. по резанию металлов Наркомтяжпрома. М.: Наркомтяжпром, 1937. С. 189–205.

## 1938

41. Руководство к лабораторным занятиям по теории механизмов. М.: Моск. авиац. ин-т, 1938. 87 с. Стеклогр. изд.
42. Структурный и кинематический анализ механизмов. М.: Моск. авиац. ин-т, 1938. 83 с. Стеклогр. изд.
43. Полуавтомат для пришивки талонов и нумерации деталей кроя в швейной промышленности: (Конструкция и принципы работы) / С.Н. Кожевников, М.М. Пруслин // Швейн. пром.-сть. 1938. № 10. С. 44–58.
44. Эпициклические передачи с плавным изменением передаточного отношения (в металлорежущих станках) // Станки и инструмент: Техн.-произв. журн. 1938. № 4. С. 27–32; № 5. С. 28–38.

## 1939

45. Динамика неустановившихся процессов в (металлореж.) станках // Тр. Моск. авиац. ин-та. Теория механизмов и машин. 4, вып. 1/2. С. 38–81.
46. Механизация процессов в швейной промышленности / С.Н. Кожевников, М.М. Пруслин // Швейн. пром.-сть. 1939. № 10. С. 10–13.

## 1940

47. Задачник по теории механизмов и машин / С.Н. Кожевников, Г.А. Барсов. М.: Моск. авиац. ин-т, 1940. 157 с.
48. Исследование и расчет универсальной швейной машины 31(4) кл. / С.Н. Кожевников, М.М. Пруслин // Швейн. пром.-сть. 1940. № 6. С. 14–17; № 7. С. 19–20; № 8. С. 17–20.
49. Испытание машины 4-го класса на износ / С.Н. Кожевников, М.М. Пруслин // Там же. № 11/12. С. 22–25.
50. Комплексная механизация погрузочно-разгрузочных работ на Стерлитамакском (зерно)заготовительном пункте // Мукомол. и элеватор.-склад. хоз.-во. 1940. № 6. С. 18–19.

## 1941

51. Динамическое исследование продольно-строгального станка ЗПС // Тр. Моск. авиац. ин-та. Теория механизмов и машин. 1941. 5, вып. 2. С. 48–144.

## 1947

52. К вопросу о кинематике и синтезе пространственных кривошипно-коромысловых механизмов // Тр. Семинара по теории механизмов и машин (СТММ). 1947. 4, вып. 14. С. 32–63.

## 1948

53. Контроль и автоматика в металлургии. Днепропетровск: Днепропетр. металлург. ин-т, 1948. Стеклогр. изд.

## 1949

54. К вопросу об определении закона движения машины // Тр. Днепропетр. металлург. ин-та. Прикл. механика и механизация металлург. цехов. 1949. Вып. 17. С. 7–20.
55. Вспомогательные теоремы для построения ложных планов ускорений // Там же. С. 135–140.
56. Исследование скольжения в бесступенчатой клиноременной передаче с колодочками // Там же. С. 173–196.
57. Выбор закона движения ведомого звена кулачкового механизма // Там же. С. 197–212.
58. Проектирование кулачковых механизмов с плоским коромыслом // Там же. С. 213–226.

## 1951

59. Характеристика и калибровка струйных регуляторов с эластичными мембранами // Тр. Днепропетр. металлург. ин-та. Прикл. механика и механизация металлург. цехов. 1951. Вып. 26. С. 7–24.

## 1953

60. Определение действительных нагрузок в линиях передач тяжелых машин // Тр. Семинара по теории механизмов и машин. 1953, 13, вып. 51. С. 5–26.
61. Аппаратура для исследования рабочих машин / С.Н. Кожевников, А.К. Козленко, И.К. Косько, В.В. Мартыненко, Я.М. Раскин, Л.И. Цехнович // Там же. С. 86–111.

## 1954

62. Аппаратура и устройство гидро- и пневмоавтоматики. Днепропетровск: Днепропетр. металлург. ин-т, 1954. Стеклогр. изд.
63. К вопросу об авторегулировании скорости канатовьющих машин // Сталь. 1954. № 5. С. 466–467.
64. Определение скорости движения поршня гидравлического исполнительного механизма // Науч. тр. Днепропетр. металлург. ин-та. Эксплуатация и конструирование металлург. оборудования. 1954. Вып. 32. С. 7–20.
65. Выбор параметров кулачковых механизмов // Там же. С. 21–63.
66. Динамические нагрузки в механизме высадки холодновысадочных машин / С.Н. Кожевников, Я.М. Раскин // Там же. С. 64–72.

67. Фрезерование валков прокатных станов / С.Н. Кожевников, А.Г. Сто-рожик, А.Н. Чернышев // Там же. С. 247–260.

**1955**

68. Механизмы с заданным относительным движением подвижных звеньев / С.Н. Кожевников, Л.И. Цехнович // Тр. Семинара по теории машин и механизмов. 1955. 15, вып. 56. С. 59–89.

**1956**

69. Основные проблемы теории металлургических машин и оборудования // Основные проблемы теории машин и механизмов: Материалы 1-го совещ. по основ. пробл. теории машин и механизмов: Сб. ст. / Отв. ред. И.И. Артоболевский. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 54–74.

**1957**

70. О работе Днепропетровского филиала семинара по теории машин и механизмов // Тр. Семинара по теории машин и механизмов. 1957. 17, вып. 65. С. 20–24.
71. Пути автоматизации машин в металлургическом производстве // Теория и методы расчета и проектирования механизмов и машин автоматов и автоматических линий: Сес. АН СССР по науч. пробл. автоматизации произ. процессов (Москва, 15–20 окт. 1956 г.): Сб. ст. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 199–211.

**1958**

72. Возможности повышения производительности трубопрокатного пилигримового стана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.Н. Чернышев, С.Д. Гринберг // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1958. № 7. С. 91–107.
73. Динамика скипового подъемника доменной печи / С.Н. Кожевников, А.Н. Чернышев // Там же. 1958. № 5.
74. Динамическое теоретическое исследование и электронное моделирование уширительного прокатного стана / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Научн. тр. Днепропетр. металлург. ин-та. Эксплуатация и конструирование металлург. оборудования. 1958. Вып. 37. С. 215–221.
75. Исследование неуставившихся процессов в скиповых подъемниках доменных печей / С.Н. Кожевников, А.Н. Чернышев // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1958. № 5. С. 89–101.
76. Теоретическое исследование и электронное моделирование уширительного прокатного стана / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Науч. тр. Днепропетр. металлург. ин-та. Эксплуатация и конструирование металлург. оборудования. 1958. Вып. 37. С. 222–231.
77. Теория колебаний. Днепропетровск: Днепропетр. металлург. ин-т, 1958.
78. Экспериментальное исследование станов холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, А.Н. Чернышев, А.В. Праздников // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1958. № 6. С. 91–98.
79. Dynamische Belastungen an Walzwerksmaschinen // Neue Hütte. 1958. N 11. S. 655–665.

## 1959

80. Автоматическое регулирование толщины ленты при прокате / С.Н. Кожевников, А.П. Пух // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1959. № 4. С. 124–135.
81. Динамика подающего аппарата с гидравлическим торможением пилгримового стана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников // Там же. № 11. С. 143–157.
82. Исследование механизма транслятора / С.Н. Кожевников, А.Н. Силич // Bul. Inst. Politehn. Din Jasi. Ser. Nova. 1959. T. V(IX), fasc. 1/2. P. 325–330.
83. Исследование работы и модернизация подающего аппарата пильгерстана / С.Н. Кожевников, В.М. Мартыненко и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1959. № 3. С. 143–155.
84. Исследование ротационных летучих ножниц / С.Н. Кожевников, В.Д. Кирилук, А.Н. Силич // Там же. № 8. С. 150–155.
85. Исследование системы автоматического регулирования толщины металла с помощью электронной моделирующей установки / С.Н. Кожевников, А.П. Пух // Там же. № 7. С. 127–138.
86. К исследованию воздухораспределительных устройств металлургических машин / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Там же. № 10. С. 161–168.
87. На основе большого педагогического опыта / С.Н. Кожевников, Я.М. Раскин // Высшая школа. 1959. № 9.
88. Пути автоматизации металлургических машин. Киев: Изд-во АН УССР, 1959. 15 с.
89. Структурный анализ механизмов летучих ножниц / С.Н. Кожевников, В.Д. Кирилук // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1959. № 2. С. 161–170.
90. Устройство для измерения крутящего момента / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко // Там же. № 7. С. 153–156.
91. Экспериментальное исследование подающего аппарата с гидравлическим торможением / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников // Там же. № 12. С. 179–188.

## 1960

92. Автоматическое регулирование величины петли на непрерывных прокатных станах / С.Н. Кожевников, С.Д. Гринберг, А.П. Пух // Тр. Ин-та чер. металлургии АН УССР. Механизация и автоматизация металлург. пр-ва. 1960. 1. С. 166–171.
93. Автоматичне регулювання товщини штаби на безперервних прокатних станах / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко // Прикл. механіка. 1960. 6, вип. 3. С. 335–337.
94. Динамика гидропривода механизма перемещения каретки подающего аппарата пильгерстана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1960. № 8. С. 170–194.
95. Динамическое исследование механизмов с зазорами в кинематических парах / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Тр. 2-го Совещ. по теории механизмов, динамике машин: В 2 т. М.: Машгиз, 1960. Т. 2.
96. Исследование виброударного механизма: Докл. на 2-м Всесоюзном совещ. по теории машин и механизмов / С.Н. Кожевников, Я.М. Раскин // Там же.
97. Исследование процессов в длинноходовом пневматическом цилиндре прошивного стана / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1960. № 10. С. 172–178.
98. Исследование сопротивления движению вагон-весов // С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, И.И. Вишенский // Там же. С. 163–166.

99. Исследование термодинамических процессов в пневматических механизмах / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Тр. Ин-та чер. металлургии АН УССР. 1960. 13. С. 158–165.
100. К определению температуры воздуха в пневматических устройствах металлургических машин / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1960. № 6. С. 193–195.
101. Методика определения времени срабатывания электропневматических распределителей / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Тр. Ин-та чер. металлургии АН УССР. 1960. 13. С. 166–171.
102. Моделирование динамики процесса прокатки ленты на непрерывном стане / С.Н. Кожевников, А.П. Пух // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1960. № 6.
103. Определение усилий при холодной прокатке с натяжением / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко // Там же. № 8. С. 88–95.
104. Резино-металлические соединения / И.И. Артоболевский, С.Н. Кожевников // Вестн. машиностроения. 1960. № 8. С. 72–80.
105. Экспериментальное исследование воздействия потока воздуха на клапан электропневматического распределителя / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Тр. Ин-та чер. металлургии АН УССР. 1960. 13. С. 177–181.
106. Anwendung electronischer Modelle zur dynamischen Untersuchung von Schwermaschinen // Konstruktion. 1960. N 1.

#### 1961

107. Выбор механизма манипулятора и кантователя для автоматизированного блюминга / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий // Модернизация металлургического оборудования: Сб. ст. Киев: Гостехиздат, УССР. 1961.
108. Исследование работы электропневматических распределителей с помощью электронной моделирующей установки / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1961. № 2. С. 178–183.
109. К вопросу о расчете тормозных рычажных передач железнодорожных вагонов / С.Н. Кожевников, Я.М. Гаркави // Сб. тр. Днепропетр. ин-та инженеров ж.-д. трансп. 1961. Вып. 34.
110. Методические рекомендации преподавателям предмета "Основы автоматизации производства" в техникумах: Сб. ст. / Под ред. С.Н. Кожевникова. Днепропетровск: Днепропетр. совет нар. хоз-ва. Науч.-метод. кабинет, 1961. 123 с.
111. Модернизация подающего аппарата пильгерстана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе // Модернизация металлургического оборудования: Сб. ст. Киев: Гостехиздат УССР, 1961, С. 47–57.
112. Основы теории производительности // Методические рекомендации по основам механизации и автоматизации производства. Днепропетровск: Днепропетр. совнархоз, 1961.
113. Применение электронных моделирующих установок при исследовании прокатных станов // Тр. Семинара по теории машин и механизмов. 1961. Вып. 83. С. 59–75.
114. Экспериментальное исследование главных линий клетей непрерывного тонколистового стана 1680 завода "Запорожсталь" / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко // Изв. вузов. Черн. металлургия. 1961. № 12. С. 179–184.
115. Elektronikus számológép alkalmazába Kohógépek dinamikai Számításaihoz // A Nehézipari Műszaki Egyetem magyar nyelvű Közleményei. Miskolc, 1961. S. 203–219.

116. Автоматическая точная остановка реверсивных станов холодной прокатки / С.Н. Кожевников, Е.Г. Скуратов // Сб. тр. Ин-та чер. металлургии АН УССР. Механизация и автоматизация металлург. пр-ва. 1962. 16. С. 143–153.
117. Автоматический индикатор положения плунжера подающего аппарата пилигримового стана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.И. Лошкарев // Там же. С. 105–111.
118. Анализ автоматических петлерегуляторов непрерывных мелкосортных станов горячей прокатки (по отечественным и зарубежным материалам) / С.Н. Кожевников, С.Д. Гринберг // Там же. С. 112–128.
119. Анализ точности взвешивания рычажных воронко-весов / С.Н. Кожевников, Г.М. Кухтевич, Е.А. Козаков, В.С. Егоров, А.В. Невейкин // Там же. С. 15–25.
120. Динамика слитковоза с канатным приводом / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Там же. С. 26–36.
121. Динамика электромеханических систем с упругими звеньями / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, А.С. Ткаченко // Там же. С. 56–65.
122. Исследование блюминга 950 завода им. Дзержинского экспериментальное, аналитическое и с помощью электронной модели / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, А.Н. Ленский, В.И. Большаков // Там же. С. 37–51.
123. Исследование работы главной линии пилигримового стана на электронной модели // С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.Н. Ленский, В.И. Большаков // Там же. С. 88–104.
124. Исследование работы механизмов шихтоподачи доменной печи объемом 2000 м<sup>3</sup> завода "Криворожсталь" / С.Н. Кожевников, Е.А. Козаков, В.С. Егоров. Днепропетровск: НТО чер. металлургии, 1962. 17 с.
125. К вопросу об определении оптимального режима работы обжимных станов / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, А.Н. Ленский, В.М. Лобода, В.И. Большаков // Там же. С. 70–77.
126. К теории автоматического регулятора хода поршня тормозного цилиндра // Тр. Днепропетр. ин-та инженеров ж.-д. трансп. Конструкция и ремонт локомотивов. 1962. № 40.
127. Применение электронных моделирующих установок при исследовании приводов прокатных станов // Теория прокатки: Материалы конф. по теорет. вопр. прокатки / Под. ред. А.П. Чекмарева. М.: Металлургиздат. 1962. С. 644–654.
128. Частотные измерители скорости и перемещения / С.Н. Кожевников, В.С. Егоров // Тр. Ин-та чер. металлургии АН УССР. Механизация и автоматизация металлург. пр-ва. 1962. 16. С. 66–69.
129. Экспериментальное исследование вагон-весов / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, В.А. Скуме, И.И. Вишенский // Там же. С. 9–14.
130. Экспериментальное исследование работы непрерывного трехклетьевого прокатного стана / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, П.Я. Скичко // Там же. С. 154–160.
131. Экспериментальное исследование роторного вагонопрокидывателя // С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, В.А. Скуме // Там же. С. 3–8.
132. Экспериментальное исследование универсального стана завода им. Дзержинского / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко // Там же. С. 78–87.

133. Автоматизация обжимных реверсивных станов / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Сб. материалов координац. совещ. по автоматизации обжимных реверсивных станов (ноябрь, 1961 г., Киев). Киев: Гостехиздат УССР, 1963. С. 112.
134. Возможности увеличения производительности трубопрокатных установок с автоматическими станами / С.Н. Кожевников, А.Ф. Крисанов // Сталь. 1963. № 5. С. 447–450.
135. Изыскание резервов повышения производительности обжимных станов / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, А.Н. Ленский // Автоматизация обжимных реверсивных станов: Сб. ст. Киев: Гостехиздат УССР, 1963. С. 38–51, 151–170.
136. Исследование обжимных станов завода им. Дзержинского / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко // Там же. С. 151–171.
137. Исследование работы механизмов манипулятора и кантователя блюминга / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий, Б.И. Мирошниченко // Там же. С. 125–140.
138. Исследование работы слитковоза с канатным приводом на электронной модели / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат, Е.С. Мухопад // Там же. С. 184–199.
139. Моделирование составной главной линии прокатного стана с зазорами в соединительных муфтах / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Там же. С. 140–151.
140. Новый механизм кантовки для автоматизованого блюминга / С.Н. Кожевников, О.Я. Праздников, Е.А. Смоляницкий // Прикл. механика. 1963. 9, вип. 1. С. 86–93.
141. Обзор механизмов кантовки реверсивных обжимных прокатных станов и синтез нового механизма кантовки для автоматизированного блюминга / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий // Автоматизация обжимных реверсивных станов: Сб. ст. Киев: Гостехиздат УССР, 1963. С. 109–125.
142. Определение нагрузок в главных линиях прокатных станов с помощью электронных моделей / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский, П.Я. Скичко // Теория механизмов и машин. 1963. Вып. 96/97. С. 74–84.
143. Расчет металлорезиновых амортизаторов на динамическое сжатие / С.Н. Кожевников, Д.П. Притыкин // Металлург. машиностроение / ЦИНТИ по автоматизации и машиностроению. 1963. № 4.
144. Расчет мощности привода барабанного смесителя аглофабрик / С.Н. Кожевников, Д.П. Притыкин // Там же. № 6.
145. Подающие аппараты пилигримовых станов и возможные пути их автоматизации / С.Н. Кожевников, А.М. Иоффе // Информация / Госком по металлургии ЦИИНТИМ. Сер. 7. 1963. № 4.
146. Система рационального безупорного пореза раската на ножницах обжимного стана / С.Н. Кожевников, В.С. Егоров, М.С. Кофман, Ю.Н. Коваленко, В.Г. Шаруда // Автоматизация обжимных реверсивных станов: Сб. ст. Киев: Гостехиздат УССР, 1963. С. 177–184.
147. Уравнение динамики механизмов, описываемых разветвленными и замкнутыми цепями дискретных масс с упругими связями // Тр. 3-го Всесоюз. совещания по теории машин и механизмов: В 2 вып. М.: Машгиз, 1963. Ч. 2: Динамика машин.



148. Электронное моделирование динамических процессов в гидравлических механизмах / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.И. Мирошниченко // Тр. Семинара по теории машин и механизмов. 1963. Вып. 96/97. С. 19–27.

#### 1964

149. Динамика подъемной установки с дифференциальным редуктором / С.Н. Кожевников, А.П. Нестеров // Тр. Семинара по теории машин и механизмов. 1964. № 103/104. С. 72–86.
150. Новые направления в создании быстроходных подающих аппаратов пилигримовых станов / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе // Металлург. 1964. № 9. С. 21–23.
151. О динамическом эффекте ускорений высшего порядка / С.Н. Кожевников, D. Mangeron // Bul. Inst. Politehn. Din Jasi. Ser. Nova. 1964. N X (XIV), fasc. 1/2. P. 243–254.
152. О динамическом эффекте действия ускорений высшего порядка / С.Н. Кожевников, D. Mangeron // Bull. Acad. Rev. Sci. Belg. Ser. 5. 1964. 21.
153. Стенд для испытания и монтажа подающего аппарата пильгерстана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников и др. // Металлург. 1964. № 3.
154. Теоретические исследования длинноходовых пневматических цилиндров / С.Н. Кожевников, А.Ф. Крисанов // Тр. Семинара по теории машин и механизмов. 1964. Вып. 101/102. С. 30–41.

#### 1965

155. Автоматическое обнаружение, вырезка и удаление из потока металла сварных стыков при бесконечной прокатке / С.Н. Кожевников, А.П. Чекмарев, В.М. Клименко, А.В. Праздников, Л.П. Стычинский, М.П. Топоровский, Г.М. Кухтевич, В.М. Лобода, Б.И. Мирошниченко, А.А. Галибин, В.Ф. Ильин // Автоматизация производственных процессов в черной металлургии. Киев: Ин-т техн. информ. 1965. С. 50–58.
156. Анализ работы поворотноподающих механизмов станов холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, Б.М. Климовский, А.Г. Бондаренко // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 20. С. 94–108.
157. Анализ работы привода клетки и валков стана холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, Б.М. Климовский, А.А. Шведченко // Там же. С. 51–58.
158. Влияние параметров системы управления летучих ножниц на точность порезки мерных длин / С.Н. Кожевников, В.М. Лобода // Там же. № 19. С. 163–172.
159. Влияние упругости звеньев на степень неравномерности // Сб. докл. Междунар. конф. "Механизмы и машины", Болгария: В 4 т. Варна, 1965. Т. 4. С. 29–48.
160. Выбор оптимальных параметров быстродействующего механизма с дроссельным следящим управлением на электронной модели / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий // Гидравл. машины и гидропривод. 1965. № 1. С. 94–102.
161. Динамика инерционного вариатора М.Ф. Балжи / С.Н. Кожевников, А.А. Цымбалюк // Прикл. механика. 1965. Вып. 1. С. 26–36.
162. Динамика кантовки слитка при использовании крюкового и уголкового кантователей / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий // 7. А.Н. Боголюбов и др.

- Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 19. С. 79–90.
163. Динамика машин с упругими звеньями и распределенными параметрами // Некоторые задачи динамики машин с учетом переменности масс и упругости звеньев: Тр. 2-го Всесоюз. съезда по теорет. и прикл. механике: Сб. ст. М.: Наука, 1965. С. 231–246.
  164. Динамика механизмов с двумя степенями свободы // Прикл. механика. 1965. Вып. 1. С. 3–25.
  165. Динамика механизмов с двумя степенями свободы // Современные проблемы теории машин и механизмов: Сб. ст. М.: Наука, 1965. С. 211–222.
  166. Динамика смесительных барабанов / С.Н. Кожевников, Д.П. Притыкин, Р.А. Райцин // Динамика машин с учетом упругости и переменности масс: Сб. ст. М.: Наука, 1965. С. 121–128.
  167. Динамические характеристики главного привода непрерывного прокатного стана / С.Н. Кожевников, О.Н. Кукушкин, В.М. Лошкарёв // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 19. С. 112–118.
  168. Динамическое исследование манипулятора блюминга 1300 с безредукторным приводом на электронной моделирующей установке / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий, Л.П. Фабрика // Там же. С. 91–102.
  169. Значение курса "Теория механизмов и машин" в подготовке инженера. Киев: М-во высш. и сред. спец. образования УССР: Науч.-метод. совет объединения УССР, 1965. 15 с.
  170. Использование аналоговых моделей для исследования нелинейных электромеханических систем / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский // Тр. 4-го Всесоюз. совещ. по основ. пробл. теории машин и механизмов. М.: Наука, 1965.
  171. Исследование главного привода стана холодной прокатки труб на электронно-моделирующих установках / С.Н. Кожевников, Б.М. Климовский, А.Н. Ленский, А.С. Ткаченко, Л.П. Фабрика // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 20. С. 59–75.
  172. Исследование динамики приводной линии вертикальных валков слябинга / С.Н. Кожевников, В.И. Большаков // Там же. № 19. С. 73–78.
  173. Исследование и реконструкция однобарабанных летучих ножниц / С.Н. Кожевников, В.Н. Лобода, В.С. Чудновский // Там же. С. 155–162.
  174. Исследование маневренности вагон-весов с помощью электронной модели / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский, Е.А. Козаков, Т.А. Топчиева, В.В. Тоцкий // Там же. С. 3–11.
  175. Исследование работы механизмов транспортирования агломерата доменной печи объемом  $2000 \text{ м}^3$  / С.Н. Кожевников, Е.А. Козаков, В.С. Егоров, В.А. Беличенко, А.Н. Есипенко // Там же. С. 12–18.
  176. Исследование электромеханической системы с односторонне действующими упругими связями / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Динамика машин с учетом упругости и переменности масс. М.: Наука, 1965. С. 105–121.
  177. К вопросу о коэффициенте заполнения металлом барабанов моталок типа Гаретта / С.Н. Кожевников, А.В. Литвин // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 19. С. 143–148.

178. К исследованию механизмов с упругими связями в разветвленных и замкнутых механических цепях / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат // Там же. С. 24–28.
179. К теории автоматического регулятора хода поршня тормозного цилиндра // Тр. Днепропетр. ин-та инженеров ж.-д. трансп. Конструкция и ремонт локомотивов. 1965. Вып. 40.
180. Некоторые вопросы биомеханики в изучении органов млекопитающих / С.Н. Кожевников, С.Ф. Манзий, И.М. Пряхин // Прикл. механика. 1965. Вып. 1. С. 131–137.
181. О динамическом эффекте действия ускорений высшего порядка / С.Н. Кожевников, D. Mangeron // Rend. Accad. Naz. Lincei Cl. sci. fis. mat. e natur. Ser. 8.
182. Об улучшении классификации суставов животных / С.Н. Кожевников, С.Ф. Манзий, И.М. Пряхин // Прикл. механика. 1965. Вып. 1. С. 138–141.
183. Определение оптимальных параметров режима работы подающего аппарата пильгерстана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе и др. // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 20. С. 3–13.
184. Применение тригонометрических рядов к анализу плоских механизмов / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Прикл. механика. 1965. Вып. 1. С. 37–59.
185. Проблемы автоматизации и курс теории машин // Вестн. высшей школы. 1965. № 9.
186. Проблемы динамики металлургических машин // Тр. 4-го Всесоюз. совещ. по основн. пробл. теории машин и механизмов. М.: Наука, 1965.
187. Программное управление режимом прокатки труб на пильгерстане / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе, А.А. Чернявский // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 20. С. 14–17.
188. Способ уменьшения приведенной массы дистанционного гидропривода / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, О.Н. Кукушкин // Прикл. механика. 1965. Вып. 1. С. 129–130.
189. Способы выравнивания нагрузок на приводном валу и уравнивание сил инерции возвратно-поступательно перемещающихся масс главного привода станов холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, Б.М. Климовский, А.С. Ткаченко // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация металлург. оборудования. 1965. № 20. С. 76–93.
190. Сравнительное исследование механизмов передвижения упорных подшипников с пневматическим и электрическим приводами на трубопрокатных установках / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат, А.Ф. Крисанов // Там же. С. 136–149.
191. Сравнительный анализ работы нажимных устройств обжимных станов / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, А.В. Праздников, В.А. Скумс, Е.Я. Подковырин // Там же. № 19. С. 59–72.
192. Требования к быстродействию привода силового элемента систем петле-регулирования непрерывных станов / С.Н. Кожевников, О.Н. Кукушкин, А.В. Праздников // Там же. С. 103–111.
193. Физическое и электронное моделирование электромеханических систем металлургических машин / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат, Е.С. Мухопад // Там же. С. 30–43.
194. Экспериментальное исследование работы вибрационного грохота ГВК-1 / С.Н. Кожевников, Е.А. Козаков, В.С. Егоров // Там же. С. 19–24.

195. Экспериментальное исследование работы слитковоза / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат, К.С. Логинова, Е.С. Мухопад // Там же. С. 25–29.
196. Электронное моделирование канатного приводного устройства с учетом провисания каната / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский, Л.П. Фабрика // Там же. № 20. С. 18–23.
197. Rugalmas tagokkal és osztott parameterekkel rendelkező gépek dinamikája. Miskolc, 1965. S. 379–396.

#### 1966

198. Динамические характеристики гидравлических петледержателей непрерывных прокатных станов / С.Н. Кожевников, О.Н. Кукушкин // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. Киев: Техника, 1966. С. 51–58.
199. Использование аналоговых моделей для исследования нелинейных электромеханических систем / С.Н. Кожевников, А.М. Ленский, В.Н. Лобода // Динамика машин: Сб. ст. / Отв. ред. С.Н. Кожевников, М.: Машиностроение, 1966. – С. 139–150.
200. Использование метода моделирования на токопроводящей бумаге для исследования поля поворотного электромагнита / С.Н. Кожевников, А.М. Ленский, В.М. Лобода, Л.П. Фабрика // Электромашиностроение и электрооборудование. 1966. № 3.
201. Исследование динамики электромеханической системы скипового подъемника / С.Н. Кожевников, С.К. Нестерова // Механика машин: Сб. ст. / Под ред. И.И. Артоболевского. М.: Наука, 1966. Вып. 1/2. С. 124–132.
202. Исследование динамических усилий в элементах стана холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.А. Шведченко, Б.М. Климовский // Прикл. механика. 1966. 2, вып. 4. С. 137–139.
203. Исследование гидропневматической системы подающего аппарата пильгерстана на электронной модели / С.Н. Кожевников и др. // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. 1966. № 2.
204. Исследование системы автоматической синхронизации подающего аппарата и клети пильгерстана на электронной модели // Теория машин автоматов и пневмогидроприводов: Сб. ст. М.: Машиностроение, 1966.
205. Исследование следящего дроссельного гидропривода на электронной модели / С.Н. Кожевников, В.С. Мороз, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий // Механика машин: Сб. ст. / Под ред. И.И. Артоболевского. М.: Наука, 1966. Вып. 1/2. С. 66–75.
206. О международной конференции по теории машин и механизмов в Варне // Прикл. механика. 1966. 2, вып. 9. С. 137–142.
207. Проблемы динамики металлургических машин / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.Ф. Пешат, П.Я. Скичко, А.С. Ткаченко // Динамика машин: Сб. ст. / Отв. ред. С.Н. Кожевников. М.: Машиностроение, 1966. С. 3–25.
208. Электронное моделирование динамических процессов скипового подъемника доменной печи / С.Н. Кожевников, С.К. Нестерова // Динамика и прочность машин. 1966. Вып. 3. С. 143–152.

#### 1967

209. Влияние зазоров на динамические нагрузки в главной линии стана 2800 / С.Н. Кожевников, В.И. Большаков, Ю.А. Кармазин, А.Н. Ленский, М.М. Сафьян, А.П. Чекмарев // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1967. № 6. С. 162–168.

210. Возможность применения электромеханических передач в приводах металлургических машин / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, А.М. Иоффе, В.Ф. Пешат // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация оборудования прокат. станов. 1967. 27. С. 154–157.
211. Выбор оптимальных параметров дроссельного гидропривода методом физического моделирования / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников // Механика машин. 1967. Вып. 9/10.
212. Выбор оптимальных параметров электромагнитных устройств с помощью электронной модели / С.Н. Кожевников, В.М. Лобода, Л.П. Фабрика // Электричество. 1967. № 10. С. 44–48.
213. Динамический эффект приложения усиления резания в летучих ножницах / С.Н. Кожевников, В.М. Лобода // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация оборудования прокат. станов. 1967. 27. С. 114–118.
214. Исследование главного привода стана холодной прокатки труб, оснащенного инерционным устройством для выравнивания момента / С.Н. Кожевников, Б.М. Климовский, А.С. Ткаченко, Р.П. Ермакович, Г.Э. Гохберг // Там же. С. 197–204.
215. Исследование динамики кулачкового механизма резания летучих ножиц / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский, В.М. Лобода, Л.П. Фабрика // Там же. С. 119–124.
216. Исследование динамики электромеханической системы механизма пропуска реза летучих ножиц / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский, В.М. Лобода, Л.П. Фабрика // Там же. С. 125–132.
217. Исследование динамики электронной модели электромеханической системы привода уширительного стана / С.Н. Кожевников, В.И. Большаков // Теория механизмов и машин. 1967. Вып. 1. С. 10–18.
218. Исследование следящего дроссельного гидропривода на электронной модели / С.Н. Кожевников, В.С. Мороз, А.В. Праздников, Э.А. Смоляницкий // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация оборудования прокат. станов. 1967. 27. С. 158–165.
219. К вопросу о надежности опорно-двигательного аппарата млекопитающих / С.Н. Кожевников, Н.А. Воронков и др. // Вопросы бионики. М.: Наука, 1967.
220. Некоторые опросы определения динамических нагрузок и выносливости главных линий прокатных станов / С.Н. Кожевников, В.И. Большаков // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация оборудования прокатн. станов. 1967. 27. С. 11–16.
221. О влиянии сил инерции на динамическую точность четырехзвенного механизма резания / С.Н. Кожевников, В.М. Лобода // Там же. С. 105–113.
222. О парадоксах Пэнлеве // Прикл. механика. 1967. 3, вып. 1. С. 119–126.
223. Пути улучшения работы привода валков стана холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, Б.М. Климовский, А.А. Шведченко // Тр. Днепропетр. ин-та чер. металлургии. Модернизация и автоматизация оборудования прокат. станов. 1967. 27. С. 186–190.
224. Развитие основных направлений теории машин и механизмов за 50 лет Советской власти: (Динамика машин) / С.Н. Кожевников // Теория механизмов и машин. 1967. Вып. 4. С. 3–14.
225. Силовой режим работы новых мелкосортных моталок Криворожского металлургического завода / С.Н. Кожевников, А.В. Литвин, В.В. Гетманец, В.А. Соцкий, С.П. Журба, П.Т. Штефан // Тр. Днепропетр. ин-та чер.

металлургии. Модернизация и автоматизация оборудования прокат. стан. 1967. 27. С. 133–135.

226. Суставы конечностей млекопитающих как демпфирующие устройства / С.Н. Кожевников, А.В. Березкин и др. // Вопросы бионики. М.: Наука, 1967.
227. Экспериментальное исследование мелкосортной моталки // Сталь. 1967. № 8.

## 1968

228. Влияние граничных условий на частотные характеристики звеньев механических систем / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Динамика и прочность машин. 1968. Вып. 9.
229. Гидравлические муфты // Гидропривод. 1968.
230. Динамика систем с электродинамической и упругой связями / В.И. Шурпа // Материалы научно-технической конференции / Под ред. С.Н. Кожевникова. Чернигов, 1968.
231. Динамические деформации в звеньях механизмов на неустановившихся режимах работы / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Механика машин. 1968. Вып. 19/20. С. 141–151.
232. Динамические деформации весомого упругого звена стержневого механизма при неравномерном движении основания / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Прикл. механика. 1968. 4, вып. 12.
233. Динамические нагрузки главных линий прокатных стан. и учет этих нагрузок при расчетах на прочность и выносливость / С.Н. Кожевников, А.А. Большаков // Тр. 1-й Всесоюз. конф. по расчетам на прочность металлург. машин. М.: ВНИИМЕТМАШ, 1968.
234. Определение динамических добавок с учетом упругих деформаций механизмов ротационных летучих ножниц // Там же.
235. Экспериментальное исследование работы летучего стана для резки труб // Гидропривод. 1968.

## 1969

236. Влияние граничных условий на частотные характеристики звеньев механических систем / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Динамика машин: Сб. ст. / Под ред. С.Н. Кожевникова. М.: Машиностроение, 1969. С. 167–183.
237. Гидравлический привод летучих ножниц / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.М. Лобода и др. // Динамика металлургических машин. М.: Металлургия, 1969. С. 109–111.
238. Демпфирование колебаний в исполнительных механизмах с электромагнитным приводом / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.М. Лобода, Л.П. Фабрика // Динамика металлург. машин. 1969. 31. С. 25–31.
239. Динамика главного привода стана холодной прокатки труб, оснащенного пневматическим уравновешивающим устройством / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, Ю.И. Черевик // Теория механизмов и машин. 1969. Вып. 5. С. 18–24.
240. Динамика главной линии пилигримового стана / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.Ф. Пешат, А.М. Иоффе, В.М. Лобода, Д.А. Бирик // Динамика машин: Сб. ст. / Под ред. С.Н. Кожевникова. М.: Машиностроение, 1969. С. 183–190.

241. Динамика главных линий прокатных станов в форме разветвленных и замкнутых механических цепей с учетом связи между клетями в виде прокатываемого металла / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко и др. // Динамика тяжелых машин. М.: Машиностроение, 1969.
242. Динамика механических систем с упругими связями и нелинейными взаимодействиями / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, И.И. Леепа // Динамика машин: Сб. ст. / Под ред. И.И. Артоболевского. М.: Наука, 1969. С. 150–159.
243. Исследование динамики привода с электромагнитной фрикционной муфтой на электронной модели / С.Н. Кожевников, В.С. Манзий и др. // Некоторые вопр. прикл. математики. 1969. Вып. 4.
244. Исследование динамики реверсивных обжимных станов / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко и др. // Динамика тяжелых машин: Сб. ст. М.: Машиностроение, 1969.
245. Исследование колебательного движения трактора на аналоговых электронных моделирующих установках / С.Н. Кожевников, Данг-Тхе-Гью // Теория механизмов и машин. 1969. Вып. 7. С. 146–152.
246. Исследование механизмов переменной структуры на электронной модели / С.Н. Кожевников, А.А. Цымбалюк // Механика машин. 1969. № 15/16.
247. Исследование напряженного состояния резонирующих колосников вибрационного грохота кокса / С.Н. Кожевников, Е.А. Козаков // Динамика металлург. машин. 1969. 31. С. 142–145.
248. Исследование неравномерности движения механизма привода клетки стана холодной прокатки труб и изыскание путей ее понижения / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко // Теория механизмов и машин. 1969. Вып. 7.
249. К вопросу о применении гармонического анализа передаточных функций в задачах кинематики и динамики машин / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Там же. Вып. 17. С. 82–94.
250. К динамике двухбарабанных ножниц прокатных станов / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников и др. // Динамика тяжелых машин: Сб. ст. М.: Машиностроение, 1969.
251. К расчету динамических деформаций в звеньях механических систем при неустановившемся движении основания / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Bul. Inst. politehn. Din Jasi. Ser. Nova. Sect. IV. Mecanica. Tehnica. 1969. 15(19), fasc 1/2. P. 59–72.
252. Моделирование плоских стержневых механизмов на аналоговых вычислительных машинах / С.Н. Кожевников, А.Н. Ленский, В.М. Лобода // Теория механизмов и машин. 1969. Вып. 7. С. 3–16.
253. О выборе рациональной тахограммы // Тр. II Междунар. конгр. по теории механизмов (Польша, Закопане). 1969.
254. О динамическом эффекте действия ускорений на механические системы // Теория механизмов и машин. 1969. Вып. 5. С. 3–17.
255. Определение параметров магнитной цепи электродвигателей постоянного тока с учетом насыщения материала магнитопровода / С.Н. Кожевников, В.П. Коваль и др. // Некоторые вопр. прикл. математики. 1969. Вып. 4.
256. Определение собственных частот линейных систем с распределенными массами / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.В. Бережной // Динамика металлург. машин. 1969. 31. С. 37–41.
257. Опыт исследования динамики главных приводов прокатных станов с учетом упругих связей и зазоров / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, А.Н. Ленский, В.И. Большаков, И.И. Леепа // Там же. С. 5–13.
258. Передаточные функции в кинематике и динамике плоских механизмов /

- С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Теория механизмов и машин. 1969. Вып. 17. С. 73–82.
259. Расчет упругих деформаций механизмов ротационных летучих ножиц / С.Н. Кожевников, В.М. Лобода // Прикл. механика. 1969. 5, вып. 4.
260. Резинометаллические амортизаторы в оборудовании агломерационных цехов / С.Н. Кожевников, В.И. Стрюк, Г.А. Блох, Ч.Л. Меламед // Сб. докл. Междунар. конф. по каучуку и резине (Москва, 1969). М.: Машиностроение, 1969. С. 1–17.
261. Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно перемещающейся массы клетки стана холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, Б.М. Климовский, А.С. Ткаченко, А.В. Праздников // Динамика металлург. машин. 1969. 31. С. 128–131.
262. Характеристика передач типа Заславского / С.Н. Кожевников, А.А. Цымбалюк // Прикл. механика. 1969. Вып. 11. С. 3–8.
263. Экспериментальное исследование станов холодной прокатки труб с уравнивающими устройствами / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.А. Шведченко, Б.М. Климовский, Ю.И. Черевик // Динамика металлург. машин. 1969. 31. С. 135–142.
264. Электронное моделирование гидравлических устройств с учетом волновых процессов в трубопроводе / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат и др. // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. 1969. Вып. 5. С. 117–123.

## 1970

265. Динамика четырехзвенных механизмов с учетом упругости звеньев / С.Н. Кожевников, Е.Г. Кузовков // Теория механизмов и машин. 1970. Вып. 9. С. 13–19.
266. Динамические деформации и натяжения в стрелневых элементах авиационных конструкций с упругими опорами / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Бюл. новых поступлений в ЦВТБ МО СССР. 1970. № 10. Свидетельство о депонировании № 547.
267. Исследование динамики разгона установки ТММ-2М в натуре и на электронной модели / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, Е.Г. Кузовков, В.С. Манзий // Сб. науч.-метод. ст. по теории механизмов и машин. 1970. Вып. 2. С. 71–77.
268. К исследованию гидромеханических систем с учетом волновых процессов в трубопроводах и кавитации жидкости / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат, В.М. Лобода, В.В. Бережной // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. 1970. Вып. 6. С. 141–147.
269. Кинематический анализ механизмов с двигателем на подвижном основании / С.Н. Кожевников, Е.Г. Кузовков // Теория механизмов и машин. 1970. Вып. 8. С. 3–15.
270. Некоторые вопросы динамики механизмов свеклоуборочных комбайнов / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан // Там же. Вып. 9. С. 26–30.
271. О наглядности преподавания курса теории механизмов и машин // Сб. науч.-метод. ст. по теории механизмов и машин. 1970. Вып. 2. С. 18–23.
272. Определение динамических нагрузок в рамах навесных орудий при транспортировке / С.Н. Кожевников, Данг-Тхе-Гью // Теория механизмов и машин. 1970. Вып. 9. С. 3–12.
273. Определение транспортных нагрузок в балочной конструкции навесного орудия вероятностным методом // С.Н. Кожевников, Данг-Тхе-Гью // Вісн. сільськогосподарської науки. 1970. № 5. С. 22–26.



274. Переходный процесс транспортной системы при случайном кинематическом возбуждении / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // Теория механизмов и машин. 1970. Вып. 5. С. 19–25.
275. Случайные колебания тракторных агрегатов при давлении / С.Н. Кожевников, Данг-Тхе-Гью, Е.Я. Антонюк // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. 1970. № 11. С. 18–21.

#### 1971

276. Взаимодействие упругих механических систем станины и привода машины при нагружении / С.Н. Кожевников, В.И. Большаков // Теория механизмов и машин. 1971. Вып. 10. С. 3–8.
277. Динамика механизмов с заданным относительным движением звеньев, обладающих двумя степенями подвижности / С.Н. Кожевников, Е.Г. Кузовков // Науч. тр. УСХА. Исслед. по механизации и электрификации сел. хоз-ва. 1971. Вып. 34. С. 155–158.
278. Динамика экипажей при движении по случайному дорожному профилю с отрывом колес / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // Там же. С. 149–154.
279. Исследование влияния формы соударяющихся тел на коэффициент восстановления скорости / С.Н. Кожевников, Ю.Г. Гранаткин // Теория механизмов и машин. 1971. Вып. 11. С. 3–7.
280. Исследование динамики теребильного аппарата свеклоуборочного комбайна / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан // Науч. тр. УСХА. Исслед. по механизации и электрификации сел. хоз-ва. 1971. Вып. 34. С. 144–146.
281. Металло-резиновые дисковые муфты на основе наирита / С.Н. Кожевников, Г.А. Блох, Ч.Л. Меламед, Н.П. Барабан // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1971. Вып. 43. С. 100–103.
282. Проблемы динамики машин // Машиноведение. 1971. № 3. С. 3–10.
283. Роль теории механизмов в процессе создания машин // Труды Юбилейной сессии общего собрания отделения механики и процессов управления АН СССР, посвященной 100-летию со дня рождения В.И. Ленина. М.: Наука, 1971. С. 15–21.
284. Экспериментальная установка и методика испытаний гидравлического обгонного механизма / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1971. Вып. 43. С. 125–128.
285. Экспериментальное исследование упругого и упруго-пластического соударения тел различной геометрии / С.Н. Кожевников, Ю.Г. Гранаткин // Науч. тр. УСХА. Исслед. по механизации и электрификации сел. хоз-ва. 1971. Вып. 34. С. 159–161.

#### 1972

286. Динамика систем с электродинамической и упругой связями / С.Н. Кожевников, В.И. Шурпа // Механика машин. 1972. Вып. 37/38. С. 58–64.
287. Динамические деформации в звеньях механических систем при неустановившемся движении основания / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Там же. Вып. 35/36. С. 137–145.
288. Динамические параметры металлорезиновых амортизаторов / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан, Н.С. Яковлев // Вестн. машиностроения. 1972. № 5. С. 13–14.
289. Исследование напряженного состояния резонирующего колосника, установленного на колеблющемся основании / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов, Е.А. Козаков // Прикл. механика. 1972. 8, вып. 3. С. 47–55.

290. Исследование неустановившегося движения привода с двухобмоточной электромагнитной фрикционной муфтой методом электронного моделирования / С.Н. Кожевников, В.П. Коваль, В.С. Манзий, В.И. Панчишин // Математическое моделирование потенциальных полей: Сб. ст. / Отв. ред. П.Ф. Фильчаков. Киев: Ин-т математики АН Украины, 1972. Вып. 11. С. 141–147.
291. Исследование поля давлений в радиальном зазоре гидрообъемного шестеренного механизма свободного хода / С.Н. Кожевников, А.А. Цымбалюк // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. 1972. Вып. 8. С. 118–120.
292. Исследование систем с электродинамической и упругой связями при гармоническом возбуждении / С.Н. Кожевников, В.И. Шурпа // Теория механизмов и машин. 1972. Вып. 12. С. 132–141.
293. Итоги работы третьего конгресса Международной федерации по теории машин и механизмов (Югославия, Купари, 13–18 сентября 1971 г.) / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // Прикл. механика. 1972. 8, вып. 10. С. 135–138.
294. К исследованию статистической динамики транспортных машин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // Теорет. и прил. механика. Бълг. акад. на наук. 1972. 3, № 2. С. 57–64.
295. Создание конструкции кулисного привода валков стана холодной прокатки труб и его промышленное испытание / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.А. Шведченко, Б.М. Климовский, И.В. Мураш // Металлург. машиноведение и ремонт оборудования. 1972. Вып. 1. С. 88–94.
296. Экспериментальное исследование гидрообъемного шестеренного механизма свободного хода / С.Н. Кожевников, А.А. Цымбалюк, Е.Я. Антонюк, В.Ф. Ярошенко // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. 1972. Вып. 8. С. 113–118.

### 1973

297. Динамические нагрузки в упругих связях при срабатывании предохранительных пружинно-зубчатых муфт / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан // Машиноведение. 1973. № 2. С. 26–32.
298. Исследование динамики поршневого исполнительного механизма / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1973, 1, вып. 87. С. 254–259.
299. Исследование переходных процессов лифта на электронной модели / С.Н. Кожевников, Ц.М. Савов, И.А. Нурибеков // Теория механизмов и машин. 1973. Вып. 14. С. 17–22.
300. Исследование упругих металлорезиновых зубчатых муфт / С.Н. Кожевников, В.П. Большаков, Н.П. Барабан, Н.Л. Вакуленко, Е.П. Моисеев // Вісн. сільськогосподарської науки. 1973. № 6. С. 36–40.
301. К вопросу об оценке некоторых показателей надежности кукурузоуборочных комбайнов / С.Н. Кожевников, О.И. Литвинов // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1973. 1, вып. 87. С. 174–182.
302. О применении резино-металлических соединений в металлургических машинах технологических цехов / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников, В.И. Большаков, В.И. Стрюк, Е.П. Моисеев, Л.И. Коссе // Применение резино-металлических деталей в тяжелых машинах: Материалы симпоз. (Днепропетровск, 1970) / Под ред. С.Н. Кожевникова. Киев: Наук. думка, 1973. С. 5–16.

303. О синтезе одной разновидности приближенного механизма с нерегулируемым приводом / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Теория механизмов и машин. 1973. Вып. 15. С. 57–63.
304. Об упругом взаимодействии соударяющихся стержней с амортизированными опорами / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Прикл. механика. 1973. 9, вып. 7. С. 91–97.
305. Оптимизация переходного процесса в подъемном лифте по времени затухания / С.Н. Кожевников, Ц.М. Савов // Механика машин. 1973. № 39/40. С. 57–62.
306. Применение тригонометрических рядов к анализу карданных механизмов / С.Н. Кожевников, П.Д. Перфильев // Теория механизмов и машин. 1973. Вып. 15. С. 71–78.
307. Экспериментальные исследования резино-металлических амортизаторов / С.Н. Кожевников, Г.А. Блох, Н.П. Барабан, В.И. Большаков, Ч.Л. Меламед, В.И. Стрюк // Применение резино-металлических деталей в тяжелых машинах / Под ред. С.Н. Кожевникова. Киев: Наук. думка. 1973. Вып. 11. С. 141–147.

#### 1974

308. Выбор параметров устройства для уравнивания инерционных нагрузок механизмов с периодическими остановками ведомого звена / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.Г. Бондаренко, В.А. Кошкарёв // Металлург. машиноведение и ремонт оборудования. 1974. № 3. С. 83–85.
309. Динамика гидропривода трубопрофильного пресса усилием 3150 т.с. / С.Н. Кожевников, Л.С. Палько, В.Ф. Ярошенко // Междунар. симпоз. по динамике тяжелых машин горн. и металлург. пром-сти (Донецк, 1974): Тез. докл. Донецк, 1974. С. 67–75.
310. Динамика гидравлических предохранительных устройств металлургических машин / С.Н. Кожевников, В.Ф. Пешат, Е.С. Мухопад // Там же. С. 316–323.
311. Динамика машин с фрикционным взаимодействием звеньев / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко, И.И. Леера // Динамика машин: Сб. ст. / Под ред. С.Н. Кожевникова. М.: Наука, 1974. С. 62–68.
312. Динамические испытания резино-металлических втулок сельскохозяйственного назначения / С.Н. Кожевников, В.И. Большаков, Н.П. Барабан, Н.Л. Вакуленко // Вісн. сільськогосподарської науки. 1974. № 8. С. 101–103.
313. Задачи динамического синтеза систем защиты прокатных станов от перегрузок / С.Н. Кожевников, М.И. Крисанов // Междунар. симпоз. по динамике тяжелых машин горн. и металлург. пром-сти (Донецк, 1974): Тез. докл. Донецк, 1974. С. 47–56.
314. Задачи и методы исследования динамических режимов тяжелых машин // 7-е Всесоюз. совещ. по основ. пробл. теории механизмов и машин (16–18 сентября, Тбилиси). М.; Тбилиси, 1974. С. 13–23.
315. Исследование и динамический синтез ударного механизма с подвижной точкой подвеса упругой связи / С.Н. Кожевников, Я.М. Раскин, И.Б. Свировский // Междунар. симпоз. по динамике тяжелых машин горн. и металлург. пром-сти (Донецк, 1974): Тез. докл. Донецк, 1974. С. 292–300.
316. Исследование динамических процессов в трансмиссиях машин при срабатывании предохранительной пружинно-зубчатой муфты / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков // Теория на механизмите / Науч.-техн. союз на машиностроене (София). 1974. Вып. 15. С. 71–78.

317. Исследование колебаний пространственного трубопровода гидравлического пресса 3150 т / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // *Металлург. машиноведение и ремонт оборудования*. 1974. Вып. 15. С. 71–78.
318. Исследование крутильных колебаний в приводе с поликарданной передачей / С.Н. Кожевников, П.Д. Перфильев // *Теория механизмов и машин*. 1974. Вып. 16. С. 32–39.
319. Исследование металло-резиновых зубчатых муфт / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // *Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва*. 1974. 1, вып. 59. С. 71–78.
320. Исследование случайных колебаний экипажей с учетом нелинейности реакции шин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, Данг-Тхе-Гью // *Динамика и прочность машин*. 1974. Вып. 20. С. 22–32.
321. К вопросу о применении гармонического анализа передаточных функций в задачах кинематики и динамики машин / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // *Теория механизмов и машин*. 1974. Вып. 17. С. 82–93.
322. К исследованию динамики карданного механизма / С.Н. Кожевников, А.Г. Бойко, О.И. Литвинов // *Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва*. 1974. Вып. 121. С. 53–59.
323. К задаче обеспечения наименьшего коэффициента динамичности в машинах / С.Н. Кожевников, Ф.Ф. Михайленко // *Междунар. симпоз. по динамике тяжелых машин горн. и металлург. пром-сти (Донецк, 1974): Тез. докл. Донецк, 1974. С. 218–223.*
324. Международный симпозиум ИФТОММ по стержневым механизмам с применением вычислительной техники / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // *Прикл. механика*. 1974. 10, вып. 7. С. 136–146.
325. Некоторые вопросы динамики механизмов поворота трубы станов холодной прокатки / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко и др. // *Металлург. машиноведение и ремонт оборудования*. 1974. Вып. 15. С. 71–78.
326. Некоторые вопросы теплораспределения в металло-резиновых амортизаторах / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан, Н.С. Яковлев // *Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва*. 1974. 1, вып. 59. С. 97–99.
327. Определение условий, обеспечивающих машинному агрегату заданную степень устойчивости / С.Н. Кожевников, В.А. Красношапка, А.М. Драгозов // *Междунар. симпоз. по динамике тяжелых машин горн. и металлург. пром-сти (Донецк, 1974): Тез. докл. Донецк, 1974. С. 202–208.*
328. Передаточные функции механизмов в кинематике и динамике машин / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // *Теория механизмов и машин*. 1974. Вып. 17. С. 73–82.
329. Подавление автоколебаний в электромеханических системах / С.Н. Кожевников, Э.А. Яровая // *Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва*. 1974. 1, вып. 59.
330. Синтез планетарно-кулачкового механизма с периодически стоящим ведомым звеном / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Ткачук // *Машиноведение*. 1974. № 2. С. 37–43.
331. Случайные вертикальные и поперечно-угловые колебания трактора при движении с отрывом колес от дороги / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // *Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва*. 1974. 1, вып. 59. С. 99–105.
332. Статичні випробування гумово-металевих шарнірів сільськогосподарського призначення / С.Н. Кожевников, В.І. Большаков та ін. // *Вісн. сільськогосподарської науки*. 1974. № 2. С. 33–39.

333. Структура механизмов на подвижном деформируемом основании // Теория на механизмите и машините / Науч.-техн. съюз на машиностроене. 1974.
334. Температурные исследования гидромеханизма свободного хода / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1974. 1, вып. 59.
335. Теревильный аппарат с упругими элементами / С.Н. Кожевников, Н.П. Барабан и др. // Там же.
336. Уравнения динамики привода с упругой поликарданной передачей / С.Н. Кожевников, П.Д. Перфильев // Теория механизмов и машин. 1974. Вып. 16. С. 26–32.
337. Установка для исследования динамики поршневого исполнительного механизма с распределителем, управляемым электромагнитами / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1974. 1, вып. 59. С. 82–98.
338. Устройства для локализации зоны действия избыточных нагрузок и методы выбора их основных параметров / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко // Междунар. симпоз. по динамике тяжелых машин горн. и металлург. пром-сти (Донецк, 1974): Тез. докл. Донецк, 1974. С. 37–46.
339. Экспериментальное исследование динамики комбайна "Херсонек-7В" // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1974. Вып. 121. С. 180–187.
340. Экспериментальные исследования резиновых дисковых муфт / С.Н. Кожевников, А.И. Блох и др. // Металлург. машиноведение и ремонт оборудования. 1974. № 17. С. 82–98.
341. O Sadržaju, strukturi zadacima i formi prirucnika za konstruktore u TMM // Masinc i mehanizmi Univerzitetska istrazivanja i primeno u industriji: Zbornik radova. Beograd, 1974.
342. Structure and dynamics of statically indeterminate mechanisms. N.Y.: ASME publ. United eng. center, 1974. P. 2–11.
343. Synthesis of a Cam-differential mechanism with periodic dwell of the output zink / S.N. Kozhevnikov, E.Ja. Antonjuk, A.I. Tkachuk // Mech. and Mach. Theory. 1974. 9. P. 219–229.

## 1975

344. Исследование движения жидкости в рабочей полости гидродинамической муфты переменного заполнения // С.Н. Кожевников, В.С. Манзий, В.И. Панчишин // Энергет. машиностроение. 1975. Вып. 20. С. 70–74.
345. Исследование динамики гидравлического исполнительного сервомеханизма / С.Н. Кожевников, Л.С. Палько, В.Ф. Ярошенко // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. 1975. Вып. 11. С. 115–124.
346. Исследование динамических процессов в трансмиссиях с предохранительной пружинно-зубчатой муфтой / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков // Машиноведение. 1975. № 1. С. 15–21.
347. Исследование распределения нагрузок в зубчато-ременной передаче / С.Н. Кожевников, Ф.Ф. Михайленко, А.П. Погребняк // Теория механизмов и машин. 1975. Вып. 19. С. 137–142.
348. Исследование системы управления главным распределителем гидропресса 3150 т.с. на электронной модели / С.Н. Кожевников, В.Ф. Ярошенко // Технология и организация производства. Киев, 1975. № 17. С. 82–93. Деп. УкрНИИНТИ.
349. К вопросу о снижении динамических нагрузок и продолжительности

- переходных процессов в тяжелых машинах периодического действия / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, Ю.И. Черевик, А.П. Лазарев // Теория механизмов и машин. 1975. Вып. 19. С. 3–9.
350. Международный симпозиум по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности // Прикл. механика. 1975. № 4. С. 136–140.
351. Особенности работы суставов млекопитающих как природных кинематических пар / С.Н. Кожевников, С.Ф. Манзий, В.И. Клыков // Тр. Риж. НИИ травматологии и ортопедии. 1975. Вып. XIII. С. 110–114.
352. Электронное моделирование динамических процессов в электроприводе при линейном нагружении и экспоненциальном сбросе нагрузки / С.Н. Кожевников, А.И.-Г. Нурибеков, А.М. Драговоз // Теория механизмов и машин. 1975. Вып. 19. С. 3–7.
353. On tasks, structure contents and form of the Handbook for designers in TMM // IF-TOMM – Intern. symp. Machines and mechanisms, university research work and its application to industry. Dublin, 1975. P. 17–90.
354. Some aspects of horse Elbow joint biomechanics / S.N. Kozhevnikov, S.F. Manzy, V.I. Klykov // J. Mech. E. 1975. P. 809–813.

## 1976

355. Анализ и синтез вспомогательных механизмов обрезных автоматов / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, И.В. Степанов, В.И. Литвишков // Теория механизмов и машин. 1976. Вып. 21. С. 72–76.
356. Аналитическое определение нормальных нагрузок, действующих на конический подкапывающий орган / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Алиджанов // Докл. АН УзССР. 1976. № 5. С. 15–17.
357. Влияние гидростатического привода на динамические характеристики трансмиссий свеклоборочных машин / С.Н. Кожевников, Н.С. Яковлев, Е.Я. Антонюк // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. 1976. № 10. С. 12–14.
358. Возможности повышения надежности сельскохозяйственных машин / С.Н. Кожевников // Теория машин и механизмов. М.: Наука, 1976. С. 65–77.
359. Гидромотор-редукторы для гидроприводов сельхозмашин / С.Н. Кожевников, Н.С. Яковлев // Тракторы и сельхозмашины. 1976. № 11. С. 26–30.
360. Динамические нагрузки в толкательных печах станов горячей прокатки / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков // Теория механизмов и машин. 1976. Вып. 20. С. 57–65.
361. Динамические процессы в разветвленных системах при срабатывании механических средств защиты / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков, М.Р. Шербаджи // Там же. С. 51–57.
362. Изыскание возможностей интенсификации скоростных режимов машин периодического действия с кратковременным приложением нагрузки / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, И.В. Степанов, В.И. Литвишков // Тез. докл. на Всесоюз. совещ. по методам расчета механизмов машин-автоматов, Львов, 19–21 мая 1976 г. Львов, 1976. С. 120–121.
363. Использование гидропривода для совершенствования свеклоборочных машин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, Н.С. Яковлев // Тез. докл. Всесоюз. науч. техн. конф. "Итоги и перспективы развития конструкций машин для производства сахарной свеклы и кукурузы на зерно". Харьков: УкрНИИСХОМ, 1976. С. 112–114.
364. Исследование кинематической схемы механизма, обеспечивающего по-

- стоянную скорость прессования / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.В. Невейкин // Тез. докл. на Всесоюз. совещ. по методам расчета механизмов машин-автоматов, Львов, 19–21 мая 1976 г. Львов, 1976. С. 68.
365. Качественный анализ на фазовой плоскости динамических процессов двух- и трехмассовой крутильной системы / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков // Машиноведение. 1976. № 4. С. 10–17.
366. Некоторые вопросы структурного анализа многорядных аксиальных опор цикловых механизмов / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко и др. // Тез. докл. на Всесоюз. совещ. по методам расчета механизмов машин-автоматов, Львов, 19–21 мая 1976 г. Львов, 1976. С. 167–168.
367. Некоторые нелинейные задачи механики машин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, И.А.-Г. Нурибеков, А.И. Ткачук // Аннот. докл. IV Всесоюз. съезда по теорет. и прикл. механике (1976 г., Киев). Киев: Наук. Думка, 1976. С. 8.
368. Новый поворотный-подающий механизм подачи стана холодной прокатки труб / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, В.Т. Вышинский // Вестн. машиностроения. 1976. № 5. С. 53–56.
369. Определение параметров управляющего элемента уравнивающего устройства, обеспечивающего беззазорное функционирование привода мальтийских механизмов / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко и др. // Тез. докл. на Всесоюз. совещ. по методам расчета механизмов машин-автоматов, Львов, 19–21 мая 1976 г. Львов, 1976. С. 121–122.
370. Определение параметров уравнивающих устройств пневматического типа с учетом неравномерности движения ведущего звена циклового механизма / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, А.Г. Бондаренко // Там же. С. 14–15.
371. Оптимальный структурный синтез механизмов // Там же. С. 4–5.
372. Оптимизация формы подвижной станины машин, подвергающихся периодическому нагружению / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, В.А. Кашкарев, С.М. Крышин // Там же. С. 64.
373. Особенности исследования некоторых машин-автоматов, представленных в виде многомассовой разветвленной динамической модели / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, В.Т. Вышинский, Ю.И. Черевик // Там же. С. 50–51.
374. Повышение надежности машин с точки зрения структуры / Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Итоги и перспективы развития конструкций машин для производства сахарной свеклы и кукурузы на зерно". Харьков: УкрНИИСХОМ, 1976. С. 172–174.
375. Приведение пространственных сил трения, действующих на заглубленный в землю конический подкапывающий орган / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Алиджанов // Докл. АН УзССР. 1976. № 8. С. 17–18.
376. Применение резино-металлических элементов в свеклоборочных комбайнах / С.Н. Кожевников, Ч.Л. Меламед, Г.А. Блох, Н.П. Барабан, Н.Л. Вакуленко // Производство шин, резинотехнических и асбестотехнических изделий. М.: ЦНИИТЭ НЕФТЕХИМ, 1976. № 12. С. 13–15.
377. Структура механизмов на подвижном деформируемом основании / Publ. Techn. Univ. Heavy Industry. Ser. C. Machinery. 1976. Vol. 33. fasc. 2. P. 98–116.
378. Уравнивание сил инерции подвижных масс привода механизма с регулируемым ходом ведомого звена / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко,

Ю.И. Черевик и др. // Тез. докл. на Всесоюз. совещ. по методам расчета механизмов машин-автоматов, Львов, 19–21 мая 1976 г. Львов, 1976. С. 129–130.

379. International symposium of the dynamics of heavy machines of mining and metallurgic industry // Mech. and Mach. theory. 1976. Vol. 11. № 1.

### 1977

380. Аналитическое определение реакции грунта на конической подкапывающий орган / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Алиджанов // Теория механизмов и машин. 1977. Вып. 22. С. 3–11.
381. Гидропривод как средство улучшения динамических качеств мобильных машин / С.Н. Кожевников, Н.С. Яковлев // Теория механизмов и машин: Материалы 1-го Всесоюз. съезда по теории механизмов и машин (сентябрь 1977 г., Алма-Ата). Алма-Ата, 1977. С. 190–191.
382. Динамика машин для центробежного литья труб / С.Н. Кожевников, А.П. Горюн, В.К. Кизилов, Г.Т. Никульшин, В.Ф. Пешат, В.В. Сизоненко // Там же. С. 65–66.
383. Динамика цепных передач / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Алиджанов // Там же. С. 153–154.
384. Динамические давления в многомассовых замкнутых системах с фрикционными связями / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков // Теория механизмов и машин. 1977. Вып. 22. С. 11–17.
385. О влиянии структуры механизмов на динамические нагрузки в их звеньях / С.Н. Кожевников, Н.М. Долгов // Теория механизмов и машин: Материалы 1-го Всесоюз. съезда по теории механизмов и машин (сентябрь 1977 г., Алма-Ата). Алма-Ата, 1977. С. 66–67.
386. О нагрузках в трансмиссии экипажа при движении на волнистой дороге / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Ткачук // Динамика и прочность машин. 1977. Вып. 26. С. 84–91.
387. О пространственных группах наслоения // Прикл. механика. 1977. 13, вып. 6. С. 60–67.
388. Об инженерном методе определения динамических нагрузок в приводе с поликарданной передачей / С.Н. Кожевников, П.Д. Перфильев, Г.В. Грудинин // Динамика и прочность машин. 1977. Вып. 25. С. 94–97.
389. Оптимальный структурный синтез механизмов // Машиноведение. 1977. № 6. С. 48–55.
390. Распределение усилий между зубьями ремня и шкива в зубчато-ременной передаче / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк // Там же. № 1. С. 51–57.
391. Резервы повышения надежности и долговечности металлургического оборудования / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. 1977. № 1. С. 103.
392. Упругие муфты для свеклоуборочных машин / С.Н. Кожевников, Н.Л. Вакуленко и др. // Науч. тр. УСХА. Механизация с.-х. пр-ва. 1977. Вып. 7. С. 93.
393. Экспериментальное исследование свеклоуборочного комбайна с гидроприводом / С.Н. Кожевников, Н.С. Яковлев // Там же. Вып. 184. С. 14–19.
394. Экспериментальное определение физико-механических характеристик резино-металлических втулок / С.Н. Кожевников, Н.Л. Вакуленко, В.И. Большаков // Там же. С. 98–104.



395. Электронное моделирование случайных колебаний водителя экипажа / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков, А.И. Ткачук // Теория механизмов и машин: Материалы 1-го Всесоюз. съезда по теории механизмов и машин (сентябрь 1977 г., Алма-Ата). Алма-Ата, 1977. С. 153–154.

#### 1978

396. Дополнительные нагрузки в свеклоуборочных комбайнах, связанные с деформацией основания / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, Н.С. Яковлев // Тракторы и сельхозмашины. 1978. № 4. С. 82–98.
397. Кинематика механизма резания с косой шайбой // Теория механизмов и машин. 1978. Вып. 24. С. 92–97.
398. Критические режимы работы систем с электродинамической и упругой связями / С.Н. Кожевников, В.И. Шурпа, В.И. Соколенко // Там же. С. 8–14.
399. Определение графическим методом параметров карданной передачи через координаты шарниров / С.Н. Кожевников, П.Д. Перфильев // Там же. Вып. 25. С. 121–123.
400. Случайные колебания транспортных машин как нелинейных систем / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк // Динамика и прочность машин. 1978. Вып. 27. С. 82–93.
401. Стенд для испытания зубчатых ременных передач / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк, О.И. Литвинов // Теория механизмов и машин. 1978. Вып. 25. С. 69–76.
402. Optimal Struktur: Synthese von Mechanismen / Wilhelm Pleck Univ. Postock, 1978.

#### 1979

403. Исследование инерционно-импульсного трансформатора момента с электродвигателем / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоपुर, И.А.-Г. Нурибеков // Прикл. механика. 1979. 15, вып. 1. С. 89–92.
404. Исследование напряженного состояния зуба зубчатой ременной передачи / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк, С.М. Крышин // Машиноведение. 1979. № 5. С. 81–84.
405. Исследование пускового процессора сельскохозяйственных машин с двигателем внутреннего сгорания / С.Н. Кожевников, О.И. Литвинов // Теория механизмов и машин. 1979. Вып. 27. С. 4–9.
406. Кинематический анализ структурных групп второго класса // Там же. Вып. 26. С. 4–9.
407. Кинематический и силовой анализ вариатора скорости / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук // Машиноведение. 1979. № 2. С. 42–46.
408. Экспериментальное обоснование выбора некоторых параметров зубчатых ременных передач / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк, С.М. Крышин // Теория механизмов и машин. 1979. Вып. 26. С. 58–62.
409. Электронное моделирование случайных колебаний в нелинейной системе виброзащиты при стационарном возмущении / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков, А.И. Ткачук // Там же. С. 36–41.
410. Dynamics of a variable structure / S.N. Kozevnikov, E.J. Antoniuk // Proceeding of the Fifth Congr. on the theory machines and mechanisms (Monreal, Canada). Monreal, 1979. Vol. 1. P. 574–578.

411. Гармонический анализ реактивного момента двигателя / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук // Динамика и прочность машин. 1980. Вып. 31. С. 113–118.
412. Динамика инерционно-импульсного механизма с упругими звеньями / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоপুর // Машиноведение. 1980. № 1. С. 5–9.
413. Динамические нагрузки в инерционно-импульсном вариаторе с упругими элементами в валопроводе и механизме свободного хода / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоপুর // 6-я Всесоюз. науч.-техн. конф. по управляемым и автомат. механическим приводам и передачам с гибкой связью: Тез. докл. Одесса, 1980. С. 1.
414. Исследование динамики инерционно-импульсного вариатора при встречном и однонаправленном вращениях входного и выходного звеньев импульсного механизма / С.Н. Кожевников, В.Э. Летоপুর // Там же. С. 70–71.
415. Исследование динамических моделей устройств механической защиты / С.Н. Кожевников, И.А.-Г. Нурибеков // Прикл. механика. 1980. 15, вып. 7. С. 102–107.
416. Исследование динамических процессов в ходовой системе самоходных машин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Ткачук // 6-я Всесоюз. науч.-техн. конф. по управляемым и автомат. механическим приводам и передачам с гибкой связью: Тез. докл. Одесса, 1980. С. 18.
417. Исследование и опыт эксплуатации регулируемого привода механизма шагового движения трубопрокатного агрегата / С.Н. Кожевников, А.С. Ткаченко, В.Г. Воронько // Там же. С. 33–34.
418. Клиноременной вариатор скорости с параллельно работающими ветвями / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, Б.Д. Козачок // Там же. С. 132–133.
419. ОСТ 70.2.31-80. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы структурной оценки конструкций механизмов машин / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк и др. / Госкомсельхозтехника СССР. М., 1980.
420. Применение оптико-поляризационного метода к исследованию напряжений и контактных давлений в передаче с зубчатым ремнем / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк // Там же. С. 308.
421. Сравнительный анализ динамических процессов в инерционно-импульсных вариаторах различных схемных исполнений / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоপুর // 6-я Всесоюз. науч.-техн. конф. по управляемым и автомат. механическим приводам и передачам с гибкой связью: Тез. докл. Одесса, 1980. С. 69.
422. Универсальный стенд для исследования клиноременных вариаторов / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко // Там же. С. 131–132.
423. Экспериментальное обоснование выбора некоторых параметров зубчатых ременных передач / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк // Теория механизмов и машин. 1980. Вып. 29. С. 58–62.

424. Вклад И.И. Артоболевского в развитие методов динамики машин // Теория механизмов и машин. 1981. Вып. 30. С. 3–10.
425. Динамика роторных систем дифференциального типа / Аннот. докл. 5-го Всесоюз. съезда по теорет. и прикл. механике (сентябрь, 1981 г., Алма-Ата). Алма-Ата: Наука, 1981. С. 196.

426. Динамические процессы в инерционно-импульсных системах при наличии проскальзывания в механизмах свободного хода / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоपुर // Теория механизмов и машин. 1981. Вып. 30. С. 93–98.
427. Метод упрощения динамических моделей при расчете приводов металлургических машин // Машиноведение. 1981. № 1. С. 3–6.
428. О методе упрощения дискретных динамических моделей машин / С.Н. Кожевников, В.К. Кулик // Прикл. механика. 1981. 17, вып. 11. С. 130–133.

## 1982

429. Анализ динамических процессов в инерционно-импульсном вариаторе с упругими звеньями / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоपुर / Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам. 1982.
430. Виброактивность двухступенчатого клиноременного вариатора / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк, В.В. Коцюруба // Вестн. машиностроения. № 5. 1982. С. 34–36.
431. Динамика роторных систем дифференциального типа // Машиноведение. 1982. № 3. С. 38–48.
432. Построение динамических моделей машин на основе модулей // Тез. докл. 2-го Всесоюз. съезда по теории механизмов и машин (14–18 сентября, 1982. Одесса): В 2 ч. Киев: Наук. думка, 1982. Ч. 2. С. 32.
433. Стенд для сравнительных исследований клиноременных вариаторов / С.Н. Кожевников, М.В. Шинкоренко, А.И. Ткачук // Теория механизмов и машин. 1982. Вып. 33. С. 8–12.
434. Универсальный стенд для испытания клиноременных передач / С.Н. Кожевников, М.В. Шинкоренко // Динамика и прочность машин. 1982. Вып. 33. С. 15–21.

## 1983

435. Анализ динамических процессов в инерционно-импульсном вариаторе с упругими звеньями / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоपुर // Инерционно-импульсные системы. Челябинск, 1983. С. 16–20.
436. Математические модели линейных цепных систем // Прикл. механика. 1983. 19, № 7. С. 96–100.
437. Математические модели роторных систем // Тр. VI Всемир. конгр. по ТММ (Дели, Индия). Дели, 1983.
438. Оценка технологических погрешностей изготовления ремней / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко // Вестн. машиностроения. 1983. № 1. С. 23–25.
439. Систематизация динамических моделей механических агрегатов // Теория механизмов и машин. 1983. Вып. 35. С. 3–5.

## 1984

440. Вибронагружатель осветительной и светосигнальной аппаратуры тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 1984. № 12. С. 12–15.
441. Кінематика механізмів // Укр. рад. енциклопедія: В 10 т. Видання друге. Київ: Гол. ред. УРЕ, 1984. Т. 5. С. 187.

442. Конструирование и расчет механизмов с зубчатыми ременными передачами: Справ. пособие / С.Н. Кожевников, А.П. Погребняк. Киев: Наук. думка, 1984. 112 с.
448. Теорія механізмів і машин // Укр. рад. енциклопедія: В 10 т. Видання друге. Київ: Гол. ред. УРЕ, 1984. Т. 6. С. 416.
444. Синтез механізмів // Там же. Т. 10. С. 166.
445. Статика механізмів // Там же. С. 514–515.
446. Упрощение динамической модели машин / С.Н. Кожевников, В.К. Кулик // Прикл. механика. 1984. 20, вып. 3. С. 82–87.

## 1985

447. Динамические процессы в механизмах с инерционными самотормозящими цепями / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.М. Матиясевич // Прикл. механика. 1985. 21, вып. 10. С. 96–102.
448. Динамические процессы в системе с самотормозящим механизмом / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.М. Матиясевич // Машиноведение. 1985. № 12. С. 31–37.
449. Динамический синтез главных линий обжимных прокатных станков // Прикл. механика. 1985. 21, вып. 4, С. 74–82.
450. О некоторых путях повышения надежности металлургических машин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Ткачук // Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. по расчетам на прочность металлург. машин. М.: ЦНИИТЭИтяжмаш. 1985. Ч. 1. С. 6–7.
451. Определение частот собственных колебаний роторной системы с замкнутыми контурами // Теория механизмов и машин. 1985. Вып. 39. С. 109–115.

## 1986

452. Динамика инерционно-импульсного вариатора с упругими звеньями / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, В.Э. Летоपुर // Тез. докл. 7-й Всесоюз. науч.-техн. конф. по управляемым и автомат. механическим приводам и передачам с гибкой связью. Одесса, 1985. Ч. 1. С. 122–123.
453. Динамика машинного агрегата с самонатяжным клиноременным вариатором скорости / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко // Там же. С. 41–42.
454. Динамические процессы при пуске двигателя в кулачково-дифференциальном механизме периодического перемещения масс / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, Ю.М. Данилецкий, А.Т. Забуга // Теория механизмов и машин. 1986. Вып. 41. С. 35–40.
455. Исследование динамических процессов в клиноременной передаче с учетом погрешностей изготовления ремня / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко // Тез. докл. 7-ой Всесоюз. науч.-техн. конф. по управляемым и автомат. механическим приводам и передачам с гибкой связью. Одесса, 1986. Ч. 1. С. 229–230.
456. Пути улучшения динамических характеристик регулируемого привода механизма шагового движения трубопрокатного агрегата // Там же. С. 50–51.

457. Динамика машинного агрегата с гибкими и фрикционными связями при случайных внешних нагрузках / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук, М.В. Шинкоренко // Тр. 7-го Всемирного конгресса по теории механизмов и машин (Севилья, Испания). 1987. С. 124–129.
458. Моделирование динамических процессов машины с фрикционным вариатором скорости / С.Н. Кожевников, А.И. Ткачук // Прикл. механика. 1987. 22, вып. 10. С. 52–60.
459. О некоторых характерных задачах динамики систем с подвижными деформируемыми основаниями / Тр. 7-го Всемирного конгресса по теории механизмов и машин (Севилья, Испания). 1987. С. 86–90.

460. Возможности повышения надежности металлургических машин / С.Н. Кожевников, Е.Я. Антонюк, А.И. Ткачук // Динамика и прочность тяжелых машин. 1988. Вып. 15. С. 5–14.

#### Авторские свидетельства

461. Кожевников С.Н., Смоляницкий Э.А., Праздников А.В. А.с. 142273 (СССР). Кантователь для автоматизированного быстродействующего манипулятора прокатных станов. Оpubл. в Б.И. 1961. № 21. С. 24.
462. Кожевников С.Н., Иоффе А.М., Праздников А.В. и др. А.с. 160146 (СССР). Подающий аппарат пильгерстана. Оpubл. в Б.И. 1964. № 3. С. 12.
463. Кожевников С.Н., Праздников А.В., Иоффе А.М. А.с. 161321 (СССР). Подающий аппарат пилигримового стана. Оpubл. в Б.И. 1964. № 7. С. 13.
464. Кожевников С.Н., Праздников А.В., Иоффе А.М. А.с. 163577 (СССР). Способ прокатки бесшовных труб на пильгерстане. Оpubл. в Б.И. 1964. № 13. С. 15.
465. Кожевников С.Н., Праздников А.В., Смоляницкий Э.А. А.с. 165413 (СССР). Кантователь для реверсивных обжимных станов. Оpubл. в Б.И. 1964. № 19. С. 6.
466. Кожевников С.Н., Праздников А.В., Смоляницкий Э.А., Кресин В.А., Куница Н.В. А.с. 167074 (СССР). Гидравлическое устройство управления следящим золотником дроссельного привода. Оpubл. в Б.И. 1964. № 24. С. 58.
467. Кожевников С.Н., Климовский Б.М., Ткаченко А.С. А.с. 171831 (СССР). Привод клетки стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1968. № 12. С. 8.
468. Кожевников С.Н., Соломойченко Н.Н. А.с. 172532 (СССР). Способ измерения удлинения полосы металла в процессе прокатки. Оpubл. в Б.И. 1965. № 13. С. 81.
469. Кожевников С.Н., Лобода В.М. А.с. 173098 (СССР). Устройство для резки проката. Оpubл. в Б.И. 1965. № 14. С. 107–108.
470. Кожевников С.Н., Цымбалюк А.А. А.с. 192565 (СССР). Гидравлические муфты обгона. Оpubл. в Б.И. 1967. № 5. С. 150.
471. Кожевников С.Н., Климовский Б.М., Ткаченко А.С., Праздников А.В. А.с. 202852 (СССР). Устройство для уравнивания сил инерции клетки станов холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1967. № 12. С. 8.

472. *Кожевников С.Н., Климковский Б.М., Ткаченко А.С., Шведченко А.А., Алексеев Ю.Е.* А.с. 203604 (СССР). Патрон для зажима и поворота заготовки или трубы стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1967. № 21. С. 12.
473. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Климковский Б.М., Мураш И.В., Ермакович Р.П.* А.с. 208638 (СССР). Привод клетки стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1968. № 4. С. 19.
474. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 209383 (СССР). Подвижная рабочая клетка стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1968. № 5. С. 18.
475. *Кожевников С.Н., Соловьев Ю.Ф.* и др. А.с. 25810 (СССР). Устройство для пневматического уравнивания сил инерции. Оpubл. в Б.И. 1968.
476. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г.* и др. А.с. В2631 (СССР). Мальтийский механизм подающего поворотного устройства роликового стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И., 1968.
477. *Кожевников С.Н., Демченко А.Т.* и др. А.с. В2647 (СССР). Гидропривод петледержателей непрерывного прокатного стана. Оpubл. в Б.И. 1968.
478. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 234329 (СССР). Привод валков станов холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1969. № 4. С. 20.
479. *Кожевников С.Н.* А.с. 247208 (СССР). Планетарная клетка трубопрокатного стана. Оpubл. в Б.И. 1969. № 22. С. 12.
480. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Мураш И.В., Степанов И.В., Ермакович Р.П., Шведченко А.А.* А.с. 250860 (СССР). Устройство для уравнивания сил инерции вращающихся валков рабочей клетки станов холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1969. № 27. С. 25–26.
481. *Кожевников С.Н.* А.с. 254449 (СССР). Рабочая клетка стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1969. № 32. С. 12.
482. *Кожевников С.Н., Омельченко А.* А.с. 2605096 (СССР). Гранулятор кормов. Оpubл. в Б.И., 1970. № 12. С. 8.
483. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Федоровский Э.С.* и др. А.с. 261348 (СССР). Стан холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1970. № 5. С. 16.
484. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 261349 (СССР). Механизм подачи стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1970. № 5. С. 16.
485. *Кожевников С.Н., Демченко А.Т., Кукушкин О.Н., Праздников А.В.* А.с. 262829 (СССР). Гидропривод петледержателей непрерывного прокатного стана. Оpubл. в Б.И. 1970. № 7. С. 19.
486. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Федоровский Э.Ф.* А.с. 265841 (СССР). Привод валков стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1970. № 11. С. 17.
487. *Кожевников С.Н., Ян А.И.* А.с. 274597 (СССР). Передача с регулируемой скоростью вращения ведомого вала. Оpubл. в Б.И. 1970. № 21. С. 153.
488. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 275969 (СССР). Патрон зажима и поворота заготовки и трубы стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1970. № 23. С. 18.
489. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 277283 (СССР). Устройство для уравнивания сил инерции. Оpubл. в Б.И. 1970. № 24. С. 102.
490. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Бондаренко А.Г., Шведченко А.А.* и др. А.с. 279058 (СССР). Устройство для измерения длины однотипных изделий. Оpubл. в Б.И. 1970, № 26. С. 104.
491. *Кожевников С.Н., Малкин А.С., Ткаченко А.С., Лагутин Б.Н.* А.с. 288316

- (СССР). Способ контроля размыкания контактов зубьев по рабочим профилям шестерен зубчатой передачи. Опул. в Б.И. 1970, № 36. С. 126–127.
492. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Климковский Б.М., Бондаренко А.Г., Шведченко А.А.* и др. А.с. 293151 (СССР). Устройство для уравнивания мальтийских механизмов. Опул. в Б.И. 1971. № 5. С. 140–141.
493. *Кожевников С.Н.* А.с. 294403 (СССР). Пневматическое уравнивающее устройство. Опул. в Б.И. 1971. № 6. С. 220.
494. *Кожевников С.Н.* А.с. 298392 (СССР). Устройство для уравнивания сил инерции. Опул. в Б.И. 1971. № 11. С. 37.
495. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. Привод валков стана холодной прокатки труб. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 8.06.1971 о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1235713/22-2, кл. В 21 в, 35/10.
496. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. Мальтийский механизм поворотного подающего устройства роликовых станов холодной прокатки труб. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 15.12.1970 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1385325/22-2, кл. 7а, 17/04.
497. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. Механизм зажима заготовки на станах холодной прокатки труб. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 8.04.1971 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1405372/22-2, кл. 7а, 17/01.
498. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. Механизм периодического поворота обрабатываемых изделий. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 25.02.1971 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1442108/22-2, кл. 7а, 17/01.
499. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* Подвижная клеть стана холодной прокатки труб. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 5.07.1971 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1447080/22-2, кл. 7а, 16/01.
500. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Черевик Ю.И.* Пневматическое уравнивающее устройство. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 25.02.1971 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1451509/22-9, кл. 7а, 27/04.
501. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* Устройство для уравнивания сил инерции. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 26.02.1971 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1451510/22-2, кл. 7а, 16/01.
502. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Федоровский Э.Ф.* Стан холодной прокатки труб. Решение Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР от 14.05.1971 г. о выдаче авт. свид. СССР по заявке № 1631456/22-2, кл. 7а, 17/01.
503. *Кожевников С.Н., Черевик Ю.И.* и др. А.с. 317438 (СССР). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс клетки стана холодной прокатки труб. Опул. в Б.И. 1972. № 25.
504. *Кожевников С.Н., Черевик Ю.И., Ткаченко А.С.* А.с. 321307 (СССР). Пневматическое уравнивающее устройство. Опул. в Б.И. 1972. № 35. С. 34.
505. *Кожевников С.Н., Носаль В.В., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 326392 (СССР).

- Устройство для уравнивания мальтийского механизма. Оpubл. в Б.И. 1972. № 4. С. 129–130.
506. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Бондаренко А.Г.* и др. А.с. 335025 (СССР). Мальтийский механизм подающе-поворотного устройства роликового стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1972. № 13. С. 26–27.
507. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 349229 (СССР). Патрон для зажима и поворота прокатываемого изделия стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1972. № 25. С. 130.
508. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Кашкарев В.А.* и др. А.с. 350535 (СССР). Подвижная клеть стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1972. № 27. С. 29.
509. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 351412 (СССР). Механизм поворота прокатываемых заготовок стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1978. № 25.
510. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 354697 (СССР). Стан холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1972. № 30. С. 201.
511. *Кожевников С.Н., Раскин Я.М.* и др. А.с. 363542 (СССР). Механизм высадки головки гвоздя кривошипного гвоздильного пресса-автомата. Оpubл. в Б.И. 1973. № 4. с. 26.
512. *Кожевников С.Н., Носаль В.В.* и др. А.с. 364365 (СССР). Пневмонагружатель креста мальтийских механизмов. Оpubл. в Б.И. 1973. № 5. С. 21.
513. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 373041 (СССР). Стан холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1973.
514. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Малкин А.С.* и др. А.с. 379300 (СССР). Станина подвижной рабочей клетки трубопрокатного стана. Оpubл. в Б.И. 1973. № 20. С. 20.
515. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 384458 (СССР). Мальтийский механизм подающего поворотного устройства стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1973. N 24. С. 166.
516. *Кожевников С.Н., Шведченко А.А., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 405612 (СССР). Механизм зажима заготовки на станах холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1973. № 45. С. 33.
517. *Кожевников С.Н., Манзий В.С., Панчишин В.И.* А.с. 420830 (СССР). Электромагнитная фрикционная муфта-тормоз. Оpubл. в Б.И. 1974. № 11. С. 131.
518. *Кожевников С.Н., Барган Э.С., Милка И.Ф.* А.с. 425583 (СССР). Измельчитель сельскохозяйственных материалов. Оpubл. в Б.И. 1974. N 16. С. 7.
519. *Кожевников С.Н., Ярошенко В.Ф.* и др. А.с. 442868 (СССР). Устройство для отделения пресс-остатка. Оpubл. в Б.И. 1974. № 34. С. 27.
520. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Василенко В.Н.* и др. А.с. 472223 (СССР). Привод. Оpubл. в Б.И. 1975. № 20. С. 81.
521. *Кожевников С.Н., Ярошенко В.Ф.* и др. А.с. 492126 (СССР). Устройство для отделения пресс-остатка. Оpubл. в Б.И. 1975. № 42.
522. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Малкин А.С., Антонюк Е.Я.* А.с. 507735 (СССР). Привод клетки стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1976. № 11. С. 28.
523. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. А.с. 535122 (СССР). Подвижная опора клетки стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1976. № 42. С. 26.



524. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Малкин А.С., Антонюк Е.Я.* А.с. 540691 (СССР). Привод клетки стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1976. № 48. С. 27.
525. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Малкин А.С.* и др. А.с. 577057 (СССР). Устройство для соединения дорна со шпинделем упорного механизма трубопрокатного стана. Оpubл. в Б.И. 1977. № 39. С. 21.
526. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Малкин А.С.* и др. А.с. 577058 (СССР). Подшипниковая опора дорна упорного механизма трубопрокатного стана. Оpubл. в Б.И. 1977. № 39. С. 21.
527. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Невейкин А.В.* А.с. 633428 (СССР). Устройство к кривошипному прессу двойного действия для отделения пресс-остатка при выдавливании полых изделий. Оpubл. в Б.И. 1978. № 42. С. 27.
528. *Кожевников С.Н., Малкин А.С., Антонюк Е.Я.* и др. А.с. 655567. Гидравлический пресс. Оpubл. в Б.И. 1979. № 13. С. 59.
529. *Кожевников С.Н., Малкин А.С., Антонюк Е.Я.* и др. А.с. 715357. Горизонтальный гидравлический пресс. Оpubл. в Б.И. 1980. № 6. С. 72.
530. *Кожевников С.Н., Антонюк Е.Я., Яковлев Н.С.* А.с. 793453 (СССР). Ботвосрезающий аппарат корнеплодоуборочной машины. Оpubл. в Б.И. 1981. № 1. С. 8.
531. *Кожевников С.Н., Антонюк Е.Я.* А.с. 859240 (СССР). Привод валков подвижной клетки стана холодной прокатки труб. Оpubл. в Б.И. 1981. № 28.
532. *Кожевников С.Н., Антонюк Е.Я., Ткачук А.И.* А.с. 877175 (СССР). Двухступенчатый клиноременной вариатор скорости. Оpubл. в Б.И. 1981. № 40.
533. *Кожевников С.Н., Антонюк Е.Я., Летоур В.Э.* А.С. 945532 (СССР). Автоматический инерционно-импульсный планетарный вариатор скорости. Оpubл. в Б.И. 1982. № 27.
534. *Кожевников С.Н., Праздников А.В.* и др. Авт. заявка 755754/22-2 (СССР). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. Оpubл. в Б.И. 1962.

### Патенты

535. *Кожевников С.Н., Праздников А.В.* и др. Пат. 2632 (1в/7а) (ФРГ). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1964.
536. *Кожевников С.Н., Праздников А.В.* и др. Пат. 406058 (США). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1964.
537. *Кожевников С.Н., Праздников А.В.* и др. Пат. 984792 (Франция). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1964.
538. *Кожевников С.Н.* Пат. 1404880 В21в (Франция). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1965.
539. *Кожевников С.Н., Климковский Б.М.* и др. Пат. 3337209 (США). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательных движущихся масс. 1967.
540. *Кожевников С.Н., Соловьев Ю.Ф., Ткаченко А.С.* и др. Пат. 824123 (12330

- A/68) (Англия). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1968.
541. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г., Климовский Б.М.* и др. Пат. 828884 (14297A/68) (Италия). Устройство для преобразования непрерывного вращения в прерывистое. 1968.
542. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г., Климовский Б.М.* и др. Пат. 1566788 (F16h/B21в) (Франция). Устройство для уравнивания сил инерции вращающихся масс. 1969.
543. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г., Климовский Б.М.* и др. Пат. 310158 (B21в 21/00–7а 16/01) (Швеция). Устройство для преобразования непрерывного вращения в прерывистое. 1969.
544. *Кожевников С.Н., Соловьев Ю.Ф., Ткаченко А.С.* и др. Пат. 1566553 B21в (Франция). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1969.
545. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Климовский Б.М.* и др. Пат. 872575 (22453A/69) (Италия). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1970.
546. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Климовский Б.М.* и др. Пат. 872586 (Италия). Поддерживающее устройство для рабочих валков стана холодной прокатки труб. 1970.
547. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. Пат. 2062043 (B 21в 31/00) (Франция). Клеть стана холодной прокатки труб. 1971.
548. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г., Климовский Б.М.* и др. Пат. 1750091 (F16h27/06–47h27/06) (ФРГ). Механизм для преобразования непрерывного вращательного движения в прерывистое. 1971.
549. *Кожевников С.Н., Соловьев Ю.Ф., Ткаченко А.С.* и др. Пат. 1239767 (F2х–F16F15/22) (Англия). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1971.
550. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С., Климовский Б.М.* и др. Пат. 2064691 (B21 в 17/00) (Франция). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс. 1971.
551. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г.* Пат. 1226561 (Англия). Устройство для преобразования непрерывного вращения ведущего звена в прерывистое вращение ведомого звена. 1971.
552. *Кожевников С.Н., Бондаренко А.Г., Климовский Б.М.* и др. Пат. 1246392 (F2Q – F 16 h 27/06) (Англия). Поддерживающее устройство для рабочих валков стана холодной прокатки труб. 1971.
553. *Кожевников С.Н., Климовский Б.М.* и др. Пат. 14279210 (ФРГ). Устройство для уравнивания сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс стана холодной прокатки труб. 1973.
554. *Кожевников С.Н., Ткаченко А.С.* и др. Пат. 338968 (Швеция). Стан холодной прокатки труб. 1974.

## Литература о жизни и научной деятельности С.Н. Кожевникова

1. *Антонюк Е.Я., Федосова С.А.* Проблемы формирования школы по динамике машин на Украине. Материалы международного симпозиума по науковедению и научно-техн. прогнозированию. Современное науковедение и перестройка советской науки. Киев: Наук. думка, 1990. Ч. 3. С. 8–10.
2. *Антонюк Е.Я., Федосова С.А.* Развитие теории структурного анализа и синтеза механизмов в трудах С.Н. Кожевникова // Математическое естествознание: фрагменты истории. Киев: Наук. думка, 1992. С. 32–39.
3. *Антонюк Е.Я., Федосова С.А.* Про деякі аспекти розвитку в Україні експериментальної динаміки машин // Віхи розвитку математичного природознавства: Зб. наук. праць / НАН України. Ін-т математики. Київ, 1994. С. 31–38.
4. *Антонюк Е.Я., Федосова С.А.* Деякі аспекти розвитку динаміки машин у Дніпропетровську: історія, проблеми, сучасні рішення. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції "Історія науки і техніки: проблеми дослідження, викладання, гуманізації освіти". Дніпропетровськ, 25–27 травня 1994 р. С. 91–92.
5. *Боголюбов А.Н.* История механики машин. Киев: Наук. думка, 1964. 460 с.
6. *Боголюбов А.Н.* Советская школа механики машин. М.: Наука, 1975. 173 с.
7. Годовой отчет Московского авиационного института за 1941–1942 гг. // Центральный государственный архив г. Москвы. Ф. Р-133. Оп. 1. Д. 23. 72 л.
8. Дело сотрудника Кожевникова Сергея Николаевича // Там же. Ф. 1808. Оп. 4. Д. 579. 1930–1934. 22 л.
9. Дело студента Кожевникова Сергея Николаевича // Там же. Ф. 1808. Оп. 1. Д. 469. 28 л.
10. *Ларин В.Б., Антонюк Е.Я., Бобух И.А., Веренев В.В., Ясинский С.А.* Проблемы динамики прокатных станов (Обзор) // Прикладная механика. 1997. 33. № 3. С. 3–27.
11. Материалы о жизни и научной деятельности Кожевникова Сергея Николаевича // Архив отдела динамики сложных систем Института механики НАН Украины. Ф. 1. Оп. 1. Д. 1. 25 л.
12. Московский авиационно-технологический институт // Центральный государственный исторический архив г. Москвы. Ф. Р-851. Оп. 1. Д. 9. 87 л.; Д. 13. 70 л.; Д. 61. 2 л.
13. Памяти ученого // Машиноведение. 1989. № 3. С. 104–105.
14. Сергей Николаевич Кожевников – почетный член Международной федерации по теории машин и механизмов // Прикладная механика. 1984. Т. 20, № 6. С. 131.
15. Сергей Николаевич Кожевников. К восьмидесятилетию со дня рождения // Прикладная механика. 1986. Т. 22, № 9. С. 130–131.
16. *Цехнович Л.И.* Очерк о жизни и деятельности С.Н. Кожевникова. К шестидесятилетию со дня рождения // Механика машин. 1969. Вып. 19/20. С. 27–34.

# Приложение

## Предложение Национального комитета СССР по делам ИФТОММ о задачах, структуре, содержании и форме справочника по механизмам для конструкторов

Задачи, которые должны быть поставлены перед составителями и редакционной коллегией справочника, вытекают из необходимости внедрения достижений научных разработок в области теории механизмов и машин с целью оказания помощи конструкторам при реальном проектировании высокопроизводительных, надежных и долговечных машин различного назначения.

При проектировании новых рабочих машин возникает необходимость прежде всего разработать варианты технологического процесса и рабочие органы, реализующие отдельные операции процесса, выбрать схемы исполнительных механизмов, воспроизводящих требуемые перемещения рабочих органов, определить оптимальный тип двигателя (электрический, гидравлический, пневматический), спроектировать передаточные механизмы, выбрать средства надежной механической защиты и место их установки в кинематической цепи, разработать систему управления и регулирования, в случае необходимости автоматического, и т.д.

При выборе схем механизмов конструктором должна быть обеспечена возможность воспроизведения необходимых движений с заданной точностью, исключены нагрузки, не связанные с передачей, необходимой для выполнения требуемой работы силы, например, нагрузки, появляющиеся из-за наличия пассивных связей в механизмах, и др. Более того, для механизмов, работающих в динамическом режиме, необходимо знать, хотя бы в общих чертах, динамическую характеристику, оказывающую влияние на поведение всей системы в целом.

Практика создания в СССР справочников для конструкторов показала, что весьма важно, наряду с кратким описанием принципиальной схемы и конструктивного решения, снабжать описываемый механизм соответствующими расчетными формулами, позволяющими определить по заданным условиям его характерные параметры.

Более детальный анализ конкретного механизма конструктор может найти в дополнительной специальной литературе, которая должна быть приведена в справочнике.

В теории механизмов, как науке, в основу анализа и синтеза механизмов кладется структура механизмов, позволяющая на основе классификации построить общие для определенных групп механизмов методы исследования – кинематического, динамического или методы синтеза.

Построение справочника для конструкторов в таком плане затруднило бы его практическое использование, потому что конструктора интересует не столько принадлежность механизма к разряду, семейству и пр., т.е. его место в классификации, а главным образом те функции, которые может выполнять механизм в машине, его качественные характеристики, определяющие надежность, точность воспроизведения движений и пр., а также возможность практической реализации. Действительно, при проектировании у конструктора возникает необходимость выбрать механизмы включения и выключения, механизмы фиксации и блокировки, механизмы перемены скоростей, механизмы суммирования движений, вращательных или поступательных, компенсирующие механизмы и устройства, средства механической защиты и пр., т.е. подобрать наиболее подходящий для заданных условий работы машины механизм, который должен выполнять определенные функции, причем однозначно. В связи с этим, очевидно, с целью повышения эффективности справочника для конструкторов его структуру следует построить на *основе функциональной классификации* механизмов и механических устройств. Разумеется, что в отдельных частях его должны быть собраны и описаны механизмы на основе структурной классификации механизмов и их элементов.

Если в основу построения структуры справочника для конструкторов положить функциональную классификацию механизмов, то она должна быть строго увязана с универсальной десятичной классификацией и теми изменениями ее, которые должны быть внесены в результате анализа, проводимого в рамках комиссии "С" ИФТОММ.

Поскольку справочник должен являться настольной книгой для конструкторов, то его целесообразно снабдить главами, в которых конспективно излагаются общие проблемы структуры, кинематики и динамики механизмов и машин в современном представлении, а именно вопросы структуры должны быть изложены с учетом деформативности стойки или основания, чтобы можно было построить механизм, свободно приспосабливающийся к его деформациям, задачи динамики машин были бы рассмотрены не только как для систем твердых тел, но и для реальных систем, звенья которых обладают определенными физическими свойствами – упругостью, диссипативностью, нелинейностями и пр. Кроме этого, каждый из разделов, в которых рассматриваются определенного вида механизмы, например, кулачковые, планетарные и др., должен быть снабжен вводной статьей, в которой излагаются специфические для данного вида механизмов методы расчета. Характер их построения, очевидно, должен быть различным и определяться главными особенностями механизмов.

В соответствующих разделах должны быть помещены схемы механизмов, краткое их описание, специфические формулы для расчета параметров механизма – геометрических, кинематических или динамических. По-видимому, целесообразно помещать также часто употребляемые неправильно построенные схемы механизмов (с указанием дефектов схем) с целью предупреждения о нецелесообразности их применения.

Кроме того, в ряде случаев нужно приводить схематизированные конструктивные решения отдельных узлов или механизмов в целом.

По-видимому, конструктивные формы элементов механизмов, если они не стандартные, не следует придавать особенно большого значения, потому что конструктор при проектировании машины должен их согласовать с многими другими конкретными требованиями и принять наилучшее решение.

Очень важно установить наиболее удобную и эффективную форму справочника, которую ему следует придать. Широко известны, например, спра-

вочные материалы по механизмам, изданные Обществом германских инженеров (VDJ) в форме листов (Getriebe blatter VDJ/VDMA), подшиваемых в специальные папки. Принятая форма издания позволяет пополнять новыми, помещенными в дополнительные листки механизмами, появившимися после выхода в свет основных справочных материалов.

Однако большой размер папок, количество которых при широком охвате целевых механизмов все растет, создает определенные неудобства при их использовании в качестве настольной книги.

Конструктору, в большинстве случаев в процессе искания, необходимо просто перелистать справочные материалы, и рассматриваемые схемы или конструкции могут помочь более быстро выбрать подходящую схему или даже сформироваться новой идее.

В этом случае справочник, изданный в форме сброшюрованных томов, оказывается более удобным.

Для более детального изображения конструкций механизмов и узлов необходима подготовка специальных атласов, составление которых выходит за пределы поставленной перед комиссией "С" задачи.

В связи с изложенным можно поставить вопрос об издании справочника по механизмам в двух вариантах.

1. Справочник по механизмам, издаваемый по типу "Getriebe blatter VDJ/VDMA" с последующим выпуском в свет дополнений к нему и рассылаемый по подписке. В качестве справочника должны быть приняты: английский, немецкий и русский. На чертежах элементов механизмов, узлов механизмов не должно быть надписей. Звенья, точки и пр. должны обозначаться соответственно арабскими цифрами и буквами латинского алфавита, углы – буквами греческого алфавита.

2. Справочник по механизмам, издаваемый в форме сброшюрованных томов удобного формата с тем же текстом и рисунками, что и в варианте 1. Добавления включаются при последующем переиздании.

3. Предлагаемый проект плана справочника целесообразно опубликовать в нескольких технических журналах инженерных обществ с целью получения отзывов и пожеланий, касающихся структуры и содержания справочника для конструкторов.

## **Содержание справочника по механизмам для конструкторов**

### **О. Вводный раздел**

#### **Теоретические основы проектирования механизмов**

##### **0.1. Структура механизмов**

0.1.1 Характеристика звеньев механизмов.

0.1.2 Кинематические пары и кинематические соединения. Определение их подвижности и характеристика связей.

0.1.3 Статически определимые пространственные группы; открытые, разветвленные и замкнутые. Плоские статически определимые группы.

0.1.4 Механизм как сочетание начальных звеньев и статически определимых групп.

0.1.5 Пассивные связи как результат отклонения от нормальной (статически

определимой) структуры. Практические следствия наличия пассивных связей.

## 0.2. Методы кинематического исследования механизмов

- 0.2.1 Графические методы исследования плоских стержневых механизмов.
- 0.2.2 Графические методы исследования простейших пространственных механизмов.
- 0.2.3 Построение кинематических характеристик.
- 0.2.4 Аналитические методы исследования типовых стержневых механизмов. Передаточные функции.
- 0.2.5 Аналитическая кинематика простейших пространственных механизмов.

## 0.3. Основные сведения из динамики машин

- 0.3.1 Характеристики сил, действующих в машинах.
- 0.3.2 Методы кинестатики для определения реакций в кинематических парах.
- 0.3.3 Трение в кинематических парах. К.П.Д. Мертвые положения механизмов.
- 0.3.4 Приведение масс и сил.
- 0.3.5 Интегрирование уравнения движения механизма при различной характеристике сил.
- 0.3.6 Маховик и его роль в машинах. Расчет маховика по заданной степени неравномерности. Расчет маховика для машин с импульсным режимом нагружения.
- 0.3.7 Методы выравнивания моментов на приводном валу.
- 0.3.8 Уравновешивание сил инерции на вращающемся валу. Балансировка.
- 0.3.9 Уравновешивание сил инерции на фундаменте. Уравновешивание сил инерции на звене.

## 1. Элементы механизмов

- 1.1. Кинематические пары.
- 1.2. Кинематические соединения.
- 1.3. Связи кинематические и динамические.

## 2. Стержневые механизмы

- 2.1. Плоские стержневые механизмы.
- 2.2. Пространственные стержневые механизмы.
- 2.3. Механизмы с приближенно заданной траекторией точки.
- 2.4. Механизмы направляющие, прямолинейные и круговые.
- 2.5. Механизмы с регулируемым ходом.
- 2.6. Механизмы с заданным относительным движением.

## 3. Механизмы, составленные из зубчатых колес

- 3.1. *Зубчатые колеса*
  - 3.1.1 Основы теории профилирования плоских круглых зубчатых колес. Геометрические элементы. Кривые, используемые для очерчивания профиля.
  - 3.1.2 Неэвольвентное зацепление.
  - 3.1.3 Внецентроидное зацепление.
  - 3.1.4 Некруглые зубчатые колеса.
  - 3.1.5 Передачи с гибким колесом.
  - 3.1.6 Профилирование пространственных зацеплений.
  - 3.1.7 Червячные передачи.

- 3.2. *Механизмы зубчатые с неподвижными осями*
  - 3.2.1 Механизмы с неподвижными осями: рядовое зацепление; реверсоры; редукторы и мультипликаторы, коробки скоростей, коробки передач.
  - 3.2.2 Механизмы, составленные из некруглых зубчатых колес.
  - 3.2.3 Механизмы переключения скоростей, фиксаторы, синхронизаторы.
  - 3.2.4 Устройства для устранения бокового зазора.
- 3.3. *Эпициклические передачи (механизмы)*
  - 3.3.1 Структура эпициклических передач.
  - 3.3.2 Теоретические основы расчета эпициклических зубчатых механизмов.
  - 3.3.3 Планетарные редукторы.
  - 3.3.4 Планетарные редукторы с вневцентроидным зацеплением.
  - 3.3.5 Волновые передачи.
  - 3.3.6 Планетарные реверсивные механизмы и механизмы управления.
  - 3.3.7 Планетарные коробки скоростей.
  - 3.3.8 Суммирующие и уравнивающие механизмы, механизмы поворота машин с гусеничным ходом.
  - 3.3.9 Эпициклические зубчатые механизмы для сообщения движения звеньям с подвижными осями.
  - 3.3.10 Зубчато-рычажные механизмы.
  - 3.3.11 Зубчатые механизмы с переменным передаточным отношением (механизмы из некруглых зубчатых колес).
  - 3.3.12 Фрикционно-эпициклические передачи с переменным передаточным отношением.
  - 3.3.13 Зубчатые механизмы без избыточных связей.

#### **4. Кулачковые механизмы**

- 4.1. Типы кулачковых механизмов.
- 4.2. Основы теории проектирования: выбор закона движения ведомого звена, определение оптимальных параметров, расчет координат профиля.
- 4.3. Плоские кулачковые механизмы.
- 4.4. Пространственные кулачковые механизмы.
- 4.5. Механизмы коноидов.
- 4.6. Механизмы перекачивающихся рычагов.
- 4.7. Кулачково-зубчатые механизмы.
- 4.8. Кулачково-фрикционные механизмы.
- 4.9. Коловратные механизмы.

#### **5. Фрикционные механизмы**

- 5.1. Типы фрикционных передач: дисковые, конические, роликовые, с промежуточным гибким звеном.
- 5.2. Фрикционные передачи с переменным передаточным отношением.
- 5.3. Фрикционные механизмы прессов.
- 5.4. Фрикционные механизмы зажимов и фиксаторов.
- 5.5. Механизмы тормозов.

#### **6. Механизмы с гибкими звеньями**

- 6.1. Типы механизмов с гибкими звеньями (ременные, канатные, цепные, ленточные).
- 6.2. Механизмы с гибкой связью с постоянным передаточным отношением.
- 6.3. Механизмы с гибкой связью с переменным передаточным отношением – периодическим и непериодическим.



- 6.4. Дифференциальные механизмы с гибкой связью.
- 6.5. Направляющие механизмы с гибкими звеньями.
- 6.6. Механизмы с гибкой связью в грузоподъемных, дорожно-строительных машинах и грузозахватные устройства.
- 6.7. Натяжные устройства.
- 6.8. Способы закрепления концов гибкого звена.

### **7. Механизмы с прерывистым движением ведомого звена**

- 7.1. Храповые механизмы.
- 7.2. Анкерные механизмы.
- 7.3. Мальтийские механизмы.
- 7.4. Зубчатые механизмы с остановками.
- 7.5. Кулачковые механизмы с длительной остановкой ведомого звена.
- 7.6. Стержневые механизмы с остановками.
- 7.7. Зубчато-рычажные и кулачково-рычажные механизмы с остановкой.
- 7.8. Однооборотные муфты.
- 7.9. Грейферные механизмы протяжки.

### **8. Механизмы винтовые и клиновые**

- 8.1. Клиновые механизмы зажима. Клиновые механизмы установочные.
- 8.2. Винтовые механизмы.
- 8.3. Шарико-винтовые механизмы.
- 8.4. Комбинированные механизмы.

### **9. Механизмы с динамическими связями**

- 9.1. Механизмы с упругими звеньями в качестве связи.
- 9.2. Гидродинамические муфты и трансформаторы.
- 9.3. Электродинамические муфты скольжения.
- 9.4. Муфты центробежные.
- 9.5. Инерционные трансформаторы момента.

### **10. Разные механизмы**

- 10.1. Механизмы переменной структуры.
- 10.2. Механизмы центроидные.
- 10.3. Механизмы траекторные.
- 10.4. Механизмы для преобразования вращательного движения в поступательное.
- 10.5. Механизмы для преобразования вращательного движения в колебательное.
- 10.6. Реверсивные механизмы.

### **11. Устройства для соединения валов**

- 11.1. Муфты соединительные постоянные.
- 11.2. Карданные соединения.
- 11.3. Муфты для соединения валов с несовпадающими осями.
- 11.4. Муфты управляемые.
- 11.5. Муфты обгона.
- 11.6. Самоуправляющиеся муфты.

## **12. Уравнительные и компенсирующие механизмы**

- 12.1. Рычажные уравнительные механизмы.
- 12.2. Блочные уравнительные механизмы.
- 12.3. Зубчатые уравнительные механизмы.
- 12.4. Гидравлические устройства для распределения нагрузок.
- 12.5. Уравнительные механизмы и устройства в многопоточных редукторах.
- 12.6. Устройства для регулирования зазоров.

## **13. Механизмы для выполнения математических операций**

- 13.1. Механизмы трансляторов.
- 13.2. Механизмы пантографов.
- 13.3. Механизмы координаторов.
- 13.4. Механизмы для вычерчивания кривых.
- 13.5. Суммирующие механизмы.
- 13.6. Множительные механизмы.
- 13.7. Механизмы тригонометрических функций.
- 13.8. Планиметры, интеграторы.
- 13.9. Гармонические анализаторы.

## **14. Роторные механизмы**

- 14.1. Механизмы дробилок.
- 14.2. Механизмы центрифуг.
- 14.3. Механизмы моталок.
- 14.4. Механизмы инерционных стартеров.

## **15. Гидравлические и пневматические механизмы**

- 15.1. Насосы постоянной и переменной производительности.
- 15.2. Аккумуляторы.
- 15.3. Гидравлические механизмы поступательные, моментные, вращательные.
- 15.4. Распределители и аппаратура контроля и управления.
- 15.5. Следящие системы.
- 15.6. Пневматические механизмы.
- 15.7. Пневматические распределители и аппаратура контроля и управления.
- 15.8. Вакуумные механизмы.

## **16. Регулируемый привод**

- 16.1. Вариаторы скорости механические (импульсные, фрикционные, с гибкой связью – цепные, ременные).
- 16.2. Инерционные трансформаторы момента.
- 16.3. Гидравлический регулируемый привод.
- 16.4. Гидромеханические передачи.
- 16.5. Электромеханические передачи.
- 16.6. Многопоточные регулируемые передачи.

## **17. Резино-металлические соединения**

- 17.1. Резино-металлические шарниры.
- 17.2. Резино-металлические муфты соединительные и компенсирующие.
- 17.3. Амортизаторы и металло-резиновые опоры.

## **18. Механизмы вибрационного действия**

- 18.1. Вибраторы.
- 18.2. Машины вибрационного действия.
- 18.3. Виброударные механизмы.
- 18.4. Средства защиты от вибраций.

## **19. Средства механической защиты машин**

- 19.1. Разрушающиеся средства механической защиты: срезные пальцы, предохранительные шпиндели, муфты со срезными пальцами.
- 19.2. Стержневые механизмы переменной структуры ("ломающиеся" рычаги).
- 19.3. Муфты предельного момента кулачковые, шариковые, фрикционные.
- 19.4. Планетарные предохранительные механизмы.
- 19.5. Муфты ограничительные повышенной точности срабатывания.

## **20. Уравновешивание механизмов**

- 20.1. Способы и устройства для статического уравновешивания механизмов: вертикальных ползунов прессов и станков, опрокидывающихся кузовов, вагонеток, вагоноопрокидывателей, кранов, валков, качающихся столов.
- 20.2. Грузовое уравновешивание.
- 20.3. Пружинное уравновешивание.
- 20.4. Гидравлическое уравновешивание.
- 20.5. Пневматическое уравновешивание.
- 20.6. Статическое уравновешивание роторов, коленчатых валов.
- 20.7. Методы статической балансировки роторов.
- 20.8. Методы динамической балансировки жестких роторов.
- 20.9. Методы балансировки гибких роторов.
- 20.10. Самобалансирующиеся роторы.
- 20.11. Способы уравновешивания сил инерции полного и частичного.
- 20.12. Способы и приспособления для разгрузки шатунов от сил инерции: пружинные, гидравлические, пневматические.
- 20.13. Способы и механизмы выравнивания моментов на валу.
- 20.14. Типы нагрузателей. Программное уравновешивание избыточных сил.

## **21. Механизмы автоматов и полуавтоматов**

- 21.1. Механизм включения и выключения.
- 21.2. Механизмы фиксаторов и механизмы блокировки.
- 21.3. Распределительные валы и коммандо-аппараты.
- 21.4. Аппаратура управления по параметрам (пути, давлению, скорости, времени).
- 21.5. Механизмы питания прутковым и полосовым материалом.
- 21.6. Механизмы дискового и роторного питания.
- 21.7. Механизмы ориентации заготовок.
- 21.8. Отсекатели.
- 21.9. Механизмы бункерного питания.
- 21.10. Механизмы магазинного питания.
- 21.11. Транспортирующие и вспомогательные устройства.
- 21.12. Устройства для контроля и сортировки изделий.

21.13. Питатели и дозаторы сыпучих материалов.

21.14. Дозаторы для жидких тел.

## **22. Механизмы роботов и манипуляторов**

22.1. Манипуляторы с ручным управлением промышленные.

22.2. Механические копирующие манипуляторы с гибкими и жесткими связями.

22.3. Манипуляторы с серводействием.

22.4. Манипуляторы с автоматическим управлением.

Программу составил

Член-корреспондент АН УССР,  
профессор, доктор технических наук

*КОЖЕВНИКОВ С.Н.*

Киев.20.X.72 г.

## Указатель имен

- Акулинин В.А. 134  
Алексеев Ю.Е. 214  
Алимов О.Д. 139  
Алиджанов А.И. 115, 134, 173, 174,  
206–208  
Ананьев И.В. 176  
Андельман С. 25, 26  
Антонюк Е.Я. 116, 118, 133, 135, 140,  
144, 173–175, 200–202, 204, 206–  
214, 216, 217  
Арбузов А.Г. 48  
Аржанников Н.С. 44, 45  
Арнольд В.В. 20, 23  
Артоболевский И.И. 21, 23, 25, 28–  
30, 35, 36, 39, 42, 49, 69, 70, 98,  
123, 139, 140, 142, 152, 157, 176,  
188, 190, 199, 210  
Артоболевский С.И. 39  
Ассур Л.В. 21, 24, 29, 35, 122, 124,  
126, 151, 152, 180  
Ашетт Ж. 122
- Барабан Н.П. 115, 116, 134, 173, 200–  
205, 207  
Баранов Г.Г. 24, 28, 30, 36, 38, 39, 44,  
45, 79, 124, 127, 152, 157  
Барбашев Н.И. 10  
Барган Э.С. 116, 134, 135, 173, 174,  
216  
Бари Н.К. 10  
Барсов Г.А. 186  
Беличенко В.А. 194  
Беляев В.Н. 44  
Бережной В.В. 199, 200  
Березкин А.В. 198  
Бернштейн С.Н. 26
- Бессонов А.П. 139, 140  
Бетанкур А.А. 122  
Бибик Д.А. 198  
Блох Г.А. 200, 201, 203, 205, 207  
Бобылев Д.К. 34  
Богачев Ю.А. 170  
Боголюбов А.Н. 117, 173  
Бойко А.Г. 204  
Большаков А.А. 198  
Большаков В.И. 66, 167, 169, 170,  
171, 191, 194, 196, 197, 199, 201–  
204, 208  
Бондаренко А.Г. 105, 168, 193, 203,  
204, 214–217  
Борньи Дж. 122  
Бруевич Н.Г. 10, 24, 30, 35, 36, 39, 42,  
150, 152  
Будницкий И. 25, 26  
Бур Ж. 122  
Бурместер Л. 21, 35  
Бэккер И.Э. 48, 163
- Вакуленко Н.Л. 116, 202, 203, 207,  
208  
Василенко В.Н. 216  
Васильев Н.С. 24, 123  
Величко Е.С. 17, 19, 22  
Веренеев В.А. 168  
Верлов М.Н. 11  
Верховский А.В. 23  
Виллис Р. 15, 21, 122  
Вишенский И.И. 189, 191  
Воронков Н.А. 197  
Воронько В.Г. 210  
Вригазов А. 143  
Вышинский В.И. 207  
Вяхирев С.В. 24

- Галибин А.А. 193  
 Гаркави Я.М. 190  
 Гебель В.Г. 11  
 Гельмгольц 110  
 Герасимов Ю.Н. 45, 48, 163, 164  
 Гетманец В.В. 197  
 Геронимус Я.Л. 24, 42  
 Гершгорин С.А. 24  
 Глаголев Н.А. 10  
 Голово В.И. 170  
 Голубенцев А.А.  
 Голубенцев А.Н. 136, 173  
 Горковенко И.А. 134  
 Горфинкель М. 25, 26  
 Городецкий А.Н. 170  
 Горюн А.П. 208  
 Горячкин В.П. 21, 23, 39, 151  
 Гохман Х.И. 122, 123  
 Гранаткин Ю.Г. 116, 134, 135, 173,  
 201  
 Грасгоф Ф. 21  
 Грдина Я.И. 24  
 Гринберг С.Д. 188, 189, 191  
 Грудинин Г.В. 208  
 Грум-Гржимайло В.Е. 27  
 Грюблер М. 21, 35, 122  
 Гуревич Ш. 26
- Данг-Тхе-Гью 174, 199, 201, 204  
 Данилевский В.В. 25, 26  
 Данилецкий Ю.М. 173, 212  
 Данильцев Н. 25  
 Дворников Л.Т. 139, 159  
 Дегтярев И.Л. 48, 49  
 Демченко А.Т. 214  
 Джолдасбеков У.А. 139  
 Джулио К. 122  
 Дитрих Г. 62  
 Добровольский В.В. 24, 25, 28–30,  
 35, 36, 39, 123, 127, 152, 154,  
 157  
 Доброгурский С.О. 48  
 Долгов Н.М. 133, 141, 173, 175, 195,  
 198–201, 203, 204, 208  
 Драговоз А.М. 204, 206  
 Дядюшина Н.С. 52
- Егоров В.С. 169, 191, 192, 194, 195  
 Ермаков В.П. 30, 34, 35  
 Ермакович Р.П. 197, 214  
 Еромицкий Н. 25  
 Есипенко Я.И. 52, 61, 124, 173, 181,  
 184, 185  
 Есипенко А.Н. 194
- Жегалова Т.С. 38  
 Жидра П.И. 7  
 Жуковский Н.Е. 20, 21, 24, 34, 36, 83,  
 151  
 Желиговский В.А. 39  
 Журба С.П. 197
- Забуга А.Т. 6, 212  
 Захаренков Е.А. 7, 8  
 Зернов А.А. 39  
 Зиновьев В.А. 38  
 Зубарев С.В. 173
- Иванов А.П. 24, 184  
 Иванов И.Х. 62  
 Иванов Н.И. 14  
 Иванов-Загребалов И.В. 12  
 Иванченко Ф.К. 167, 171, 173  
 Изюмский Н.Н. 169  
 Ильин В.Ф. 193  
 Иноземцев Н.В. 44, 45  
 Иоффе А.М. 167, 168, 172, 185, 190,  
 192, 193, 195, 197, 198, 213  
 Ишлинский А.Ю. 35
- Калинин М.И. 18  
 Капустин П.П. 24–27  
 Кармазин Ю.А. 196  
 Кафтанов А. 45  
 Кашкарев В.А. 207, 216  
 Квасников А.В. 45  
 Кели А. 21  
 Кенигс Г. 122  
 Кетов Х.Ф. 42, 52, 157  
 Кизилов В.К. 208  
 Кириллюк В.Д. 189

- Клименко В.М. 193  
Климковский Б.М. 104, 106, 167, 168,  
172, 182, 193–197, 200, 202, 213,  
214, 215, 217, 218  
Клоцман Е.Я. 170  
Клыков В.И. 136, 140, 173, 206  
Коваленко Ю.Н. 192  
Коваль В.П. 199, 202  
Ковнеристов Г.Б. 173  
Кожевников И.И. 7  
Кожевников Н.И. 7–9  
Кожевников Ю.С. 6, 19, 22, 61  
Кожевников Ю.Н. 8, 9  
Кожевникова Н.И. 7  
Кожевникова Л.Н. 6, 8  
Кожевникова О.Е. 7, 8  
Козаков Е.А. 191, 194, 195, 199, 201  
Козачок Б.Д. 210  
Козаченков Е.А. 170  
Козленко А.К. 53, 54, 187  
Колмогоров А.Н. 10  
Колчин Н.И. 24, 42, 52, 157  
Кононов А.Н. 45, 46  
Конторович И.Е. 49  
Коссе Л.И. 202  
Косько И.К. 187  
Котельников А.П. 24  
Кофман М.С. 192  
Коцюруба В.В. 135, 174, 211  
Кошкарёв В.А. 203  
Красношапка В.А. 204  
Кресин В.А. 213  
Кривобоков В.Н. 168  
Кристиан Ж. 122  
Крисанов А.Ф. 167, 172, 192, 193, 195  
Крисанов М.И. 203  
Кронгауз 48  
Кросли Ф.Р. 62  
Крышин С.М. 207, 209  
Кузовков Е.Г. 133, 173, 175, 200, 201  
Куклес И.С. 48, 49  
Кукушкин В.В. 169  
Кукушкин О.Н. 6, 167, 169, 170–172,  
194–196, 214  
Кулик В.К. 144, 173, 175, 211, 212  
Куница Н.В. 213  
Кухтевич Г.М. 172, 191, 193  
Лабуле Ш. 122  
Лаврентьев М.А. 10  
Лагутин Б.Н. 106, 214  
Лазарев А.П. 206  
Ланц Х.М. 122  
Лебедев Д.А. 49  
Левенсон Л.Б. 10, 12, 13, 15, 17, 20,  
21, 30–35, 38, 150  
Леви М. 122  
Левитский Н.И. 38, 139  
Леёпа И.И. 168, 172, 199, 203  
Ленский А.Н. 66, 167, 169, 172, 188,  
189, 191, 192, 194, 196, 197, 199  
Леонтовская Л.Д. 11  
Летопур В.Э. 116, 117, 173, 175, 209–  
212, 217  
Листопадов И.Б. 168, 172  
Литвин А.В. 194, 197  
Литвинов А.И. 149  
Литвинов О.И. 134, 135  
Литвинов О.И. 116, 173, 202, 204, 209  
Литвишков В.И. 206  
Лобода В.М. 191, 193, 196–199, 200,  
213  
Логинова К.С. 196  
Лойцянский Л.Г. 24  
Локшин А.М. 74  
Лопатенко К.П. 169  
Лошкарев В.И. 191  
Лошкарев В.М. 169, 194  
Лукиянец С.Н. 169  
Лурье А.И. 24  
Макаров А. 25  
Мальшев А.П. 10, 12–16, 18, 20, 21,  
23, 25, 35, 42, 43, 72, 123, 138,  
150, 151, 156  
Малкин А.С. 106, 116, 214, 216, 217  
Манжерон Д. 193, 195  
Манзий В.С. 133, 136, 140, 173, 199,  
200, 202, 205, 216  
Манзий С.Ф. 195, 206  
Мартыненко В.М. 187, 189  
Матиясевич В.М. 173, 175, 212  
Меламед Ч.Л. 200, 201, 203, 207  
Меретяков Н.А. 45

- Мерцалов Н.И. 20, 23, 35, 151  
Милка И.Ф. 216  
Мирошниченко Б.И. 167, 169, 172, 192, 193  
Михайленко Ф.Ф. 204, 205  
Михайловский Н.В. 169  
Моисеев Е.П. 202  
Монж Г. 121  
Мор О. 122  
Мороз В.С. 196, 197  
Морошкин Ю.Ф. 127  
Музалевский О.М. 49  
Муравьева И.Г. 169  
Мураш И.В. 202, 214  
Мухопад Е.С. 192, 195, 196, 203  
Мюллер Й. 65
- Надлжанц А.Г. 48, 163, 164  
Невейкин А.В. 191, 207, 217  
Невяжский Б.Д. 49  
Немыцкий В.В. 49  
Нестеров А.П. 172, 193  
Нестерова С.К. 196  
Никитин И.П. 38  
Николаи Е.Л. 25, 26, 34  
Никкульшин Г.Т. 208  
Нурибеков И.А.-Г. 116, 134, 135, 173, 202, 203, 205–210  
Носаль В.В. 215, 216  
Ньютон И. 110
- Озол О.Г. 125  
Омаров Т.И. 134, 174, 178  
Омельченко А. 214  
Орлов Н. 25  
Островская Л.К. 6, 143, 144  
Остроградский М.В. 122
- Палько Л.С. 135, 203, 205  
Пантелеев С.И. 38  
Панчишин В.И. 202, 205, 216  
Перфильев П.Д. 174, 182, 185, 203–205, 208, 209  
Петров В.Д. 168
- Пешат В.Ф. 167, 168, 172, 181, 182, 185, 189, 190–192, 194–198, 200, 203, 208  
Погребняк А.П. 116, 135, 144, 173, 174, 185, 205, 208–212  
Подковырин Е.Я. 168, 195  
Подобедов Н.И. 169  
Полищук В.П.  
Понселе Ж.В. 20, 122  
Попов П.М. 46, 49  
Попов Хр. 62  
Потураев В.Н. 142, 167, 171, 172  
Праздников А.В. 167–172, 182, 185, 188–200, 202, 213, 214, 217  
Прандтль Л. 12  
Притыкин Д.П. 172, 192, 194  
Проктор Г.Э. 10–13, 16, 18, 37, 39, 72, 150, 180  
Пруслин М.М. 48, 163, 181, 184, 186  
Пряхин И.М. 133, 195  
Пэнлеве П. 86, 87  
Пух А.П. 189, 190
- Рабинович И.М. 23  
Рагульскис К.М. 139  
Радциг А.А. 20, 25–27  
Ранкин В. 122  
Раскин Я.М. 54, 61, 68, 113, 124, 181, 184, 185, 187, 189, 203, 216  
Райцин Р.А. 194  
Ребиндер П.А. 10  
Редтенбахер Я. 23  
Рело Ф. 20, 21, 26, 35, 122  
Решетов Л.Н. 123, 125  
Риттерсхаус Т. 122  
Рожак Я. 26  
Рузский Л.П. 20
- Савов Ц.М. 174, 202, 203  
Сафоян М.М. 196  
Свирский И.Б. 203  
Седов Л.И. 35  
Семичастный Н.Ф. 44  
Серенсен С.В. 48, 49  
Сидоров А.И. 23



- Сизоненко В.В. 208  
 Силич А.Н. 172, 189  
 Сильвестр Дж. 21, 122  
 Синицкий А. 51  
 Скичко П.Я. 167, 168, 172, 181, 184,  
 189, 190–192, 195, 196, 199, 203  
 Скороход А.Г. 168  
 Скуме В.А. 191, 195  
 Скуратов Е.Г. 172, 191  
 Слезкин Н. 34  
 Слепак А.В. 184  
 Слесарев А.Н. 172  
 Слободкин А. 25  
 Смирнов Л.П. 20, 23  
 Смоляницкий Э.А. 168, 172, 190, 192–  
 194, 196, 197, 213  
 Соболев С.Л. 34  
 Соловьев Ю.Ф. 214, 217, 218  
 Соломойченко Н.Н. 213  
 Сомов П.О. 20, 21, 122  
 Соцкий В.А. 197  
 Спорыш И.П. 125  
 Степанов И.В. 206, 214  
 Столяров Я.В. 20, 22, 23  
 Сторожик А.Г. 188  
 Стрекалов Н. 28  
 Стрелков Е. 25  
 Стрюк В.И. 200, 202, 203  
 Стычинский Л.П. 193  
 Стрэтт Дж.В. 79  
 Суслов Г.К. 30–32, 35  
 Сырокомский А.И. 24
- Таубелес И. 122  
 Тир К.В. 112  
 Титов В.С. 13  
 Тишин М.М. 38  
 Ткаченко А.С. 104, 106, 116, 167, 168,  
 171, 172, 182, 189–191, 193–200,  
 202–208, 210, 213–218  
 Ткачук А.И. 116–118, 134, 135, 141,  
 173, 174, 204, 207, 208–211, 213,  
 217  
 Тондзе Д.М. 49  
 Топоровский М.П. 169, 193  
 Толчиева Т.А. 194  
 Тоцкий В.В. 194
- Усманходжаева Х.Х. 139
- Фабрика Л.П. 194, 196–198  
 Федоровский Э.С. 214, 215  
 Фейрберн У. 122  
 Филиппов А.П. 176  
 Фильчаков П.Ф.  
 Фридман В. 34  
 Фролов К.В. 139  
 Фурье Ж. 23, 122
- Хаймович Е.М. 173  
 Хинчин А.Я. 10, 13  
 Хрисанов М.И. 173
- Целиков А.И. 142  
 Цехнович Л.И. 6, 52, 54, 65, 124, 150,  
 167, 171, 178, 187, 188  
 Цымбалюк А.А. 133, 173, 175, 193,  
 199, 200, 202, 213
- Чебышев П.Л. 21, 35, 42, 122, 151,  
 154, 160  
 Чекмарев А.П. 193, 196  
 Челомей В.Н. 176  
 Черевик Ю.И. 105, 168, 198, 200, 206–  
 208, 215  
 Чернышев А.А. 169  
 Чернышев А.Н. 188  
 Чернявский А.А. 195  
 Чигринский В.А. 167, 169, 172  
 Чудновский В.С. 194
- Шаруда В.Г. 192  
 Шаскольский Б.В. 49  
 Шахурин А. 45  
 Шведченко А.А. 104, 172, 193, 196,  
 197, 200, 202, 214, 215  
 Шербаджи М. Рашид 174  
 Шиллер Н.Н. 34, 35  
 Шинкоренко М.В. 117, 118, 141, 173,  
 174, 211–213

Широков М.Ф. 45  
Шор Я.Б. 31, 32  
Штейнберг Г. 34  
Штефан П.Т. 197  
Шурпа В.И. 133, 173, 198, 201, 202,  
209

Эдельштейн Б.В. 38, 39  
Эйлер Л. 121  
Энгельс Ф. 110  
Эрлиман Б. 26

Юдин В.А. 42  
Юргенс В.Ф. 44, 45

Яковлев Н.С. 87, 115, 116, 134, 201,  
204, 206, 208, 209, 217

Ян А.И. 214  
Яровая Э.А. 134, 204  
Ярошенко В.Ф. 116, 134, 135, 173,  
201–205, 216

Crossley F.R.E. 80, 143

Dittrich G. 132

Pileiderer C. 74

Sefi E.  
Szekele Imre 80, 143

Zaruba F. 184  
Zipperer 18

## Оглавление

Предисловие .....	5
Г л а в а 1	
Семья. Детство. Учеба. Московский индустриально-педагогический институт им. К. Либкнехта .....	7
Г л а в а 2	
Состояние теории механизмов и машин в СССР (20–30-е годы) .....	20
Г л а в а 3	
Начало творчества. Московский авиационный институт. Московский авиационно-технологический институт .....	37
Г л а в а 4	
Становление исследований в области динамики и автоматизации металлургических машин. Днепропетровский металлургический институт и Институт черной металлургии АН Украины .....	52
Г л а в а 5	
Развитие идей по динамике машин .....	71
Г л а в а 6	
Работы по уравниванию металлургических машин. К дискуссии о силах вообще и силах инерции в частности .....	97
Г л а в а 7	
Экспериментальные исследования. Унификация методов экспериментального исследования машин .....	113
Г л а в а 8	
Структурный анализ и синтез механизмов .....	121
Г л а в а 9	
Киевский период деятельности. Последние годы жизни .....	133

## Г л а в а 10

Педагогическое наследие. Ученики. Воспоминания.....	149
Основные даты жизни и деятельности С.Н. Кожевникова .....	180
Указатель трудов С.Н. Кожевникова .....	184
Литература о жизни и научной деятельности С.Н. Кожевникова.....	219
Приложение.....	220
Указатель имен .....	229

Научно-биографическое издание

**Боголюбов** Алексей Николаевич  
**Антонюк** Евгений Яковлевич  
**Федосова** Светлана Андрияновна

**Сергей Николаевич Кожевников**  
**(1906–1988)**

*Утверждено к печати*  
*Редколлекцией серии*  
*"Научно-биографическая литература"*  
*Российской академии наук*

Заведующая редакцией  
"Наука – биосфера, экология, геология"  
*А.А. Фролова*

Редактор *Н.Б. Прокофьева*  
Художественный редактор *Г.М. Коровина*  
Технический редактор *Т.В. Жмелькова*  
Корректоры *Н.Л. Голубцова,*  
*В.М. Ракитина, Т.И. Шеповалова*

Набор и верстка выполнены в издательстве  
на компьютерной технике

ЛР № 020297 от 23.06.1997

Подписано к печати 23.03.98

Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Таймс

Печать офсетная

Усл.печ.л. 15,0. Усл.кр.-отт. 15,3. Уч.-изд.л. 16,9

Тираж 300 экз. Тип. зак. 686

Издательство "Наука"

117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

Санкт-Петербургская типография "Наука"

199034, Санкт-Петербург В-34, 9-линия, 12

## **В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"**

**Вышла в свет книга:**

*Коршунов Ю.Л. Иван Федорович Александровский. 1817–1894.*

Книга посвящена жизни и деятельности талантливого русского изобретателя, создателя первой в истории отечественного флота подводной лодки с механическим двигателем, изобретателя торпеды – И.Ф. Александровского. Он был также зачинателем фотодела в России, изобретателем первых отечественных фотоаппаратов. Показаны условия, в которых осуществлялась практическая деятельность изобретателя, формировался его характер и творческий облик.

Для широкого круга читателей, интересующихся историей отечественной науки и техники.

**АДРЕСА КНИГОТОРГОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
РОССИЙСКОЙ ТОРГОВОЙ ФИРМЫ "АКАДЕМКНИГА"**

**Магазины "Книга—почтой"**

117393 Москва, ул. Академика Пилюгина, 14, корп. 2  
197345 Санкт-Петербург, ул. Петрозаводская, 7

**Магазины "Академкнига" с указанием отделов "Книга—почтой"**

690088 Владивосток, Океанский проспект, 140 ("Книга—почтой")  
620151 Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 137 ("Книга—почтой")  
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289 ("Книга—почтой")  
660049 Красноярск, проспект Мира, 84  
117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7  
117383 Москва, Мичуринский проспект, 12  
103642 Москва, Б. Черкасский пер., 4  
630200 Новосибирск, ул. Восход, 15, комн. 5086  
630090 Новосибирск, Морской проспект, 22 ("Книга—почтой")  
142292 Пущино, Московской обл., МР "В", 1 ("Книга—почтой")  
443022 Самара, проспект Ленина, 2 ("Книга—почтой")  
191104 Санкт-Петербург, Литейный проспект, 57  
199164 Санкт-Петербург, Таможенный пер., 2  
194064 Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, 4  
634050 Томск, наб. реки Ушайки, 18  
450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10 ("Книга—почтой")  
450025 Уфа, ул. Коммунистическая, 49

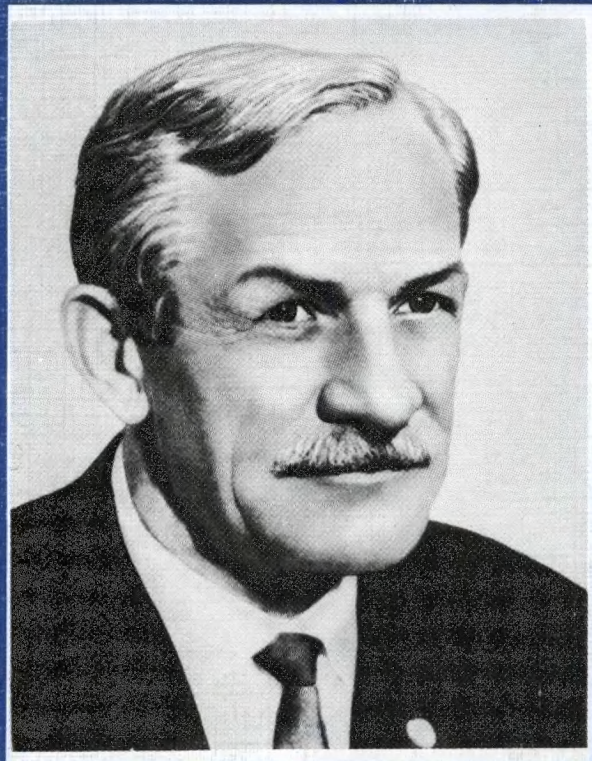
---

*По вопросам приобретения книг  
просим обращаться также  
в издательство по адресу:  
117864, Москва, ул. Профсоюзная, 90  
тел. (095) 334-98-59*

---



А. Н. Боголюбов Е. Я. Антонюк С. А. Федосова **Сергей Николаевич КОЖЕВНИКОВ**



*А. Н. Боголюбов  
Е. Я. Антонюк  
С. А. Федосова*

**Сергей Николаевич  
КОЖЕВНИКОВ**

В издательстве "Наука"  
вышла в свет книга:

**А. В. Даценко  
В. И. Прищепа**

**Юрий Васильевич  
КОНДРАТЮК**

**1897 - 1942**

