



*К 100-летию выдающегося
ученого–механика, основателя
научной школы по динамике
тяжелых машин, члена–
корреспондента Академии наук
Украины, создателя отдела
механизации и автоматизации
металлургического производства
Института черной металлургии
им. З.И.Некрасова НАН Украины,
Сергея Николаевича
Кожевникова (1906–1988)*

УДК 621.774.37:621.774.8

В.И.Большаков

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С.Н.КОЖЕВНИКОВА И ЕГО УЧЕНИКОВ ПО ДИНАМИКЕ МАШИН И АВТОМАТИЗАЦИИ

Изложены основные направления научной деятельности и результаты разработок по динамике металлургических машин и автоматизации, по подготовке инженерных и научных кадров, выполненных по инициативе и под руководством С.Н. Кожевникова.

Выдающийся ученый механик и педагог – Сергей Николаевич Кожевников родился в Днепропетровске 23 сентября 1906 года в семье рабочего Брянского металлургического завода (ныне завод им. Петровского). В 1925 г. он был направлен в Москву на учебу в рабфак, после чего поступил в Индустриально–педагогический институт им. К.Либкнехта. Блестяще окончив институт в 1930 г. Сергей Николаевич оставлен для работы на кафедре теоретической механики, сотрудничает в ЭНИМС и Московском авиационном институте. В 1937 г. ему присвоена ученая степень кандидата технических наук по совокупности научных трудов, а в 1940 г. он успешно защитил в МВТУ им. Баумана докторскую диссертацию на тему «Динамика неустановившихся процессов в машинах», выполненную под руководством профессора А.П.Мальшева. В 1942 г. ему присвоено ученое звание профессора, с 1941 по 1944 г.г. он заведует кафедрами теории механизмов и машин в московских авиационном и авиационно–технологическом институтах. В это время С.Н.Кожевников разрабатывает оригинальные методы анализа и синтеза пространственных механизмов универсальных и специальных швейных машин, выполняет практические расчеты ряда механизмов, применяемых в швейных машинах. Результатом работы стали: первая монография «Эпициклические передачи» [1], ряд статей и учебное пособие «Механика швейных машин» [2].

С 1944 года С.Н.Кожевников работает в Днепропетровском металлургическом институте, где возглавляет кафедру теории механизмов и деталей машин. Углублению теоретической подготовки преподавателей и аспирантов, формированию и совершенствованию нового подхода к исследованию машин с учётом упругости их звеньев, способствовал организованный профессором Кожевниковым научный семинар, преобразованный позднее в Днепропетровский филиал семинара по теории механизмов и машин Института машиноведения АН СССР. В 1949 году выходит первое издание его оригинального учебника «Теория механизмов и машин», завоевавшего широкое признание, переведённого на чешский, польский, венгерский, румынский и китайский языки и трижды переиздававшийся в нашей стране [3]. В 1956 г. в соавторстве с Я.И. Есипенко и Я.М. Раскиным издан уникальный справочник [4], содержащий описание более 3000 механизмов.

С.Н.Кожевников организовал с 1960 г. в Днепропетровском металлургическом институте подготовку инженеров по новой специальности «Механическое оборудование заводов черной и цветной металлургии и его автоматизация». Специальность, отражающая тенденции развития металлургического оборудования, быстро завоевала популярность у молодёжи и привлекла много способных молодых людей, работающих в настоящее время в институтах, конструкторских бюро и на заводах. Большая работа по анализу и обобщению материалов, разработке ряда новых курсов лекций потребовала подготовки методических пособий по теории колебаний. Оригинальный конспект лекций по этому специальному курсу объемом 152 стр. был издан в ротاپринтном варианте в ДМетИ в 1958 году, а в 1961 г. было издано учебное пособие «Аппаратура и механизмы гидро-, пневмо- и электроавтоматики металлургических машин»[5].

Лекции по базовым специальностям этому потоку механиков МЗ-55 (150 студентов) читали лучшие и опытные лекторы: детали машин — проф. Л.И.Цехнович, теорию механизмов доц. Я.М.Раскин, сопротивление материалов доц. Б.Д. Вольпер, математику доц. А.Д.Щербина, теоретическую механику доц. М.И.Янковский, электропривод - проф. И.Т.Жердев, гидропривод к.т.н. А.В.Праздников, экономику молодой перспективный преподаватель Т.Г.Бень. Практически все традиционные курсы по инициативе С.Н.Кожевникова были дополнены разделами, направленными на создание методической основы для расчетов динамики машин и конструкций.

В 1951 году С.Н.Кожевников избран членом-корреспондентом Академии Наук УССР. С 1953 года, продолжая работать в металлургическом институте, он заведует отделом механизации и автоматизации металлургического производства в Институте черной металлургии АН УССР. Пригласив в этот отдел наиболее способных

аспирантов и выпускников кафедры, Сергей Николаевич разворачивает здесь работы по теоретическому и экспериментальному [6,7] исследованию динамики металлургических машин с различными типами приводов, по применению современной вычислительной техники для исследования переходных процессов, а также по разработке и исследованию систем автоматического управления металлургическими машинами [8]. Тематика научных исследований отдела энергично расширяется, охватывая анализ конструкций, определение нагрузок и рациональных режимов работы комплексов машин в различных областях металлургического производства. Под руководством С.Н.Кожевникова в отделе выполнены уникальные исследования слябинга и тонколистового стана завода «Запорожсталь», блюмингов заводов им.Дзержинского и «Криворожсталь», пильгерстана завода им.К.Либкнехта. Результаты этих исследований, выполненных на базе совершенного математического аппарата с использованием новейших экспериментальной аппаратуры и вычислительных машин, позволили установить причины поломок деталей оборудования и указать пути реконструкции этих станов с целью увеличения надёжности и повышения их производительности. В начале шестидесятых годов возглавляемый С.Н.Кожевниковым отдел, насчитывающий восемьдесят сотрудников, среди которых работают десять кандидатов технических наук, становится ведущим научным центром по вопросам теории и практики исследования динамики электромеханических и гидравлических систем приводов металлургических машин, а также по автоматизации процессов и технологических агрегатов. Теоретические основы динамики машин и результаты исследования ряда металлургических агрегатов обобщены в изданной АН УССР в 1961 году монографии Динамика машин с упругими звеньями [7].

Научные интересы выдающегося ученого–механика чл.–корр.АН УССР С.Н.Кожевникова были чрезвычайно широки. Перечислим лишь некоторые направления, в постановку задач и решение которых он внес существенный вклад: структурный анализ механизмов, теория машин, динамика машин с учетом упругости и нелинейности связей, теория колебаний, оборудование металлургических машин и агрегатов, биения при колебаниях, гидравлический, пневматический и электрический приводы машин, средства автоматического контроля и управления, математическое моделирование на аналоговых электронных вычислительных машинах, резино–металлические соединения, вариаторы и карданные передачи, автоматизация металлургических машин, синтез зубчатых механизмов, автоколебания в машинах, замкнутые и разветвленные системы приводов [5–8].

Сергей Николаевич умел обоснованно определять направления научно–технических исследований в области механики и динамики машин. Обладая прекрасной механико–математической подготовкой,

анализируя публикации по новым исследованиям и оценивая новые методы расчетов, он четко формулировал задачи исследования машины, определял направления исследований и разработок, предвидя содержание конечных прикладных результатов. С.Н.Кожевников считал, что теоретические исследования и прикладные разработки неразрывны, они питают и дополняют друг друга. Он часто посещал металлургические заводы, заинтересованно общался с инженерами, изучал особенности работы оборудования и проблемы его эксплуатации, щедро давал квалифицированные советы, а иногда после таких посещений формулировал тематику новых научных исследований.

Крупным достижением научной школы С.Н.Кожевникова в области машиноведения являются создание и широкое применение нового разностного метода математического описания систем приводов с нелинейными упругими связями [6,7]. Разработка методов аналогового моделирования нелинейных электро- и гидромеханических систем приводов позволила выполнить большой объем исследований металлургических машин с использованием современных технических средств. Исследования и разработки гидро- и электроприводов металлургического оборудования, средств гидро-, пневмо- и электроавтоматики дали мощный импульс развитию перспективных направлений автоматизации металлургического производства. В результате этих исследований впервые получены новые теоретические и практические результаты, существенно углублены знания в области динамики металлургических машин и автоматизации. Практическое применение этих результатов позволяет делать машины более прочными, надежными и эффективными. Пожалуй, наиболее важный вклад С.Н.Кожевникова в науку о машинах состоит в разработке научно-методических основ и создании крупной научной школы по динамике тяжелых машин с нелинейными упругими связями и различными приводами и по основам автоматического управления металлургическими машинами [5,8]. Продолжают исследования и развивают тематику научной школы С.Н.Кожевникова акад. В.Н. Потураев, чл.-корреспонденты НАН Украины Ф.К. Иванченко и В.И. Большаков, доктора техн. наук, профессора Л.И. Цехнович, А.В. Праздников, А.Н. Голубенцев, В.С.Егоров, А.С. Ткаченко, О.Н.Кукушкин, И.И.Леєпа и др. Эти разработки и исследования на десятилетие опередили развитие мировой науки, а создатель крупнейшей школы по динамике машин еще при жизни был признан несомненным мировым лидером в этой области, избран почетным членом Международного комитета по теории механизмов и машин – IFToMM, многократно был организатором и руководителем всесоюзных и международных совещаний по теории механизмов и динамике машин.

Трудно перечислить все выполненные под руководством Сергея Николаевича исследования, разработки и полученные новые результаты.

Здесь мы приведем лишь краткие комментарии по некоторым задачам и разработкам, выполненным под руководством С.Н.Кожевникова его учениками—сотрудники отдела технологического оборудования и систем управления ИЧМ и НМетАУ.

Эффективные приемы оценки динамичности систем и правильности составления моделей. На основании анализа решения дифференциальных уравнений движения привода машин с податливыми связями при различной продолжительности нарастания внешней нагрузки С.Н.Кожевниковым установлено, что динамические нагрузки и коэффициент динамичности при колебаниях существенно зависят от отношения времени нарастания нагрузки к периоду собственных колебаний исследуемой системы. Это отношение позволяет для упрощенных систем определять возможные пределы коэффициентов динамичности при различных режимах нагружения [7].

В разделе работы [7] «Стационарное упругое состояние вала» рассмотрены варианты распределения установившихся усилий в упругих связях после затухания колебаний, т.е. в случае, когда относительные ускорения перемещений смежных масс равны нулю. Установившиеся значения усилий или моментов в упругих связях при действии постоянного усилия на любую массу системы вычисляются по алгебраическим соотношениям, а использование этих значений позволяет обнаруживать ошибки в составлении модели и получать дополнительные данные для её идентификации.

Применение относительных (разностных) координат при исследовании динамики систем с податливыми связями. С.Н.Кожевников предложил [6,7] при составлении уравнений движения систем с упругими связями и сосредоточенными массами применять в качестве независимых координат относительные перемещения смежных масс. Это позволяет понизить порядок дифференциальных уравнений и существенно увеличить точность определения динамических нагрузок. При исследовании реальных машин с использованием такого описания иногда возникает необходимость определять абсолютные скорости или перемещения масс системы. Для решения таких задач позднее нами предложено записывать дополнительное уравнение второго порядка для определения перемещения или скорости одной из масс системы в абсолютных координатах. Путем алгебраического суммирования этого параметра и относительных перемещений или скоростей масс системы из уравнений их относительного движения можно решать задачи такого рода без уменьшения точности и перегрузки памяти ЭЦВМ.

Применение электронной вычислительной техники для исследования динамики машин. Применение аналоговых машин для решения нелинейных дифференциальных уравнений открыло новые возможности исследования систем с упругими связями при различных вариантах нагружения и конструктивных изменений приводов. С.Н.Кожевников

один из первых оценил эти возможности и приложил немало усилий для широкого применения аналоговых ЭВМ при исследованиях динамики машин. Применению аналоговых вычислительных машин (АВМ) посвящен его доклад на семинаре по ТММ (1.02.60), опубликованный в трудах Института машиноведения АН СССР, вып.83–84. Аналоговые машины обеспечивают наглядное решение задач динамики и позволяют изучать поведение системы по большому количеству переменных в различных фазах движения системы. В отличие от современных ЭЦВМ на этих машинах значительно удобнее изучать физику процессов, влияние параметров системы на динамику. Поскольку решение на АВМ идет непрерывно, здесь исключается опасность потери признаков влияния высокочастотных процессов на величину и характер изменения нагрузок. Применение АВМ позволило в 1960–1975 годах решить большое количество сложных задач динамики металлургических машин.

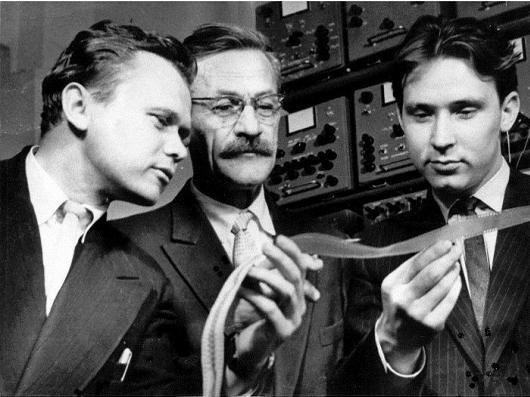


Рисунок. С.Н.Кожевников с молодыми сотрудниками отдела А.Н.Ленским и В.И.Большаковым у аналоговой ЭВМ (1962 г).

С использованием АВМ определены нагрузки, выполнены исследования режимов работы и оценка конструкций приводов пильгерстанов, обжимных и листопрокатных станов, разработана комплексная методика систематизации нагрузок для расчетов на выносливость деталей приводов прокатных станов [9]. Были установлены причины увеличения момента прокатки при захвате на станах холодной поштучной прокатки листов [10]. Позднее, работая в Институте механики АН Украины, Сергей Николаевич разработал методические основы применения унифицированных блоков моделей нелинейных систем приводов машин, приспособленную для решения задач динамики с помощью ЦВМ [11].

Исследование влияния зазоров на динамические нагрузки в приводах машин. Исследованиями С.Н.Кожевникова и его учеников теоретически и экспериментально установлено, что зазоры в приводах машин существенно увеличивают динамические нагрузки, возникающие при их нагружении.

Математическому описанию систем с упругими связями и зазорами в работах по исследованию динамики тяжелых машин постоянно уделялось

большое внимание. В работе С.Н.Кожевникова [7] впервые было введено понятие зазора в разрывающейся упругой связи и зазора между частями распадающейся массы. Отличие расчетных схем указанных вариантов систем с зазорами по определению состоит в том, что в первом случае массы деталей, между которыми расположен зазор, малы по сравнению с другими массами системы, а во втором случае эти массы того же порядка, что и другие массы системы. Для математического описания системы с зазором в работе [7] и в более поздней монографии С.Н.Кожевникова [11] предлагаются уравнения и условия разделения массы, суть которых состоит в том, что контакт между массами рассматривается как контакт двух абсолютно жестких тел, упругие свойства которых не учитываются.

Результаты прикладных исследований на АВМ особенностей поведения различных систем приводов с зазорами позволили сформулировать ряд важных выводов. Математическое описание систем с упругими связями и зазорами различного типа можно выполнять по одной типовой схеме разрывающейся связи. Такое заключение было сделано автором настоящей статьи в его кандидатской диссертации на основании использования представлений акад.А.Н.Динника [12] о контактной жесткости массивных тел, а позднее было опубликовано [13]. В соответствии с этим предложением для распадающейся массы, вместо системы дополнительных условий размыкания и замыкания зазора по массе и уравнений движения частей массы после размыкания зазора, записывается одно дополнительное уравнение второго порядка, такое же, как для двухмассовой системы с разрывающейся связью, где в качестве упругой связи фигурирует контактная жесткость соударяющихся масс [13].

Особенностью подобных систем, в которых учитывается контактная жесткость масс, является существенное различие жесткостей упругих связей, которое может достигать двух–шести порядков (т.е. $10^2 \dots 10^6$ раз), что определяет различие частот свободных колебаний парциальных систем в $10 \dots 1000$ раз. Подобные уравнения движения трудно решать на АВМ и на ЭЦВМ из-за проблем выбора масштаба времени для АВМ и применения при достаточно длительном процессе колебаний чрезвычайно мелкого шага решения на ЭЦВМ. Для решения таких задач сотрудниками ИЧМ было найдено новое техническое решение, существо которого состоит в том, что в обратную связь модели парциальной системы распадающейся массы включается дополнительный контур из двух усилителей, создающих положительную обратную связь, коэффициент усиления которой определяется величиной контактной жесткости, а в обратной связи, охватывающей эти усилители устанавливается нелинейный блок, воспроизводящий зазор между частями массы. Таким образом, проблема моделирования зазора между массами сведена не к радикальному изменению математического описания исследуемой системы с зазором, а к оригинальной технической реализации решения

уравнений её движения с помощью АВМ.

В процессе исследований системы с зазорами по массе было обнаружено удивительное свойство подобных систем, в которых, при определенном соотношении масс и жесткостей, процесс восстановления контакта после раскрытия зазора по массе состоит из большого количества кратковременных замыканий зазора (ударов) и размыканий, вследствие отскока меньшей массы от большей. Подобный процесс многократных соударений и отскоков деталей, масса которых существенно различна, был экспериментально зафиксирован проф. В.Т. Середой в механизме привода паровоза.

Замкнутые системы с упругими связями. Математическое описание, разработка методов моделирования и исследования замкнутых систем создавались и развивались в отделе металлургического машиноведения ИЧМ в 1960–1975 годах. Первоначально уравнения движения замкнутого контура с упругими связями были написаны С.Н.Кожевниковым формально [7] и, как оказалось, неверно. В соответствии с предложенным подходом к описанию замкнутой системы, например, трехмассовая замкнутая система в относительных координатах описывается уравнениями шестого порядка. Решение частотного уравнения такой системы дает нулевой корень, который может свидетельствовать о наличии расходящегося решения системы исходных уравнений. Поскольку свойства замкнутой системы допускают при некоторых условиях получение решений, включающих нарастающее закручивание упругих связей, последовала бурная дискуссия о значении нулевого корня и причинах его появления. Решение этого вопроса было получено и опубликовано в работе [14]. Существо вопроса состоит в том, что трехмассовая система в относительных координатах описывается уравнением четвертого порядка. При формальном описании системы с тремя упругими связями как совокупности трех парциальных систем, порядок оказался шестым, т.е. появилось лишнее уравнение, а координаты оказались зависимыми. Нулевой корень частотного уравнения свидетельствовал о взаимозависимости выбранных координат и присутствии лишнего уравнения. В работе [14] показано, что уравнение, описывающее закручивание замыкающей связи, должно быть алгебраическим, а не дифференциальным. Правильность такого описания была признана С.Н.Кожевниковым в его последующих публикациях.

На основании нового математического описания замкнутых систем получены оригинальные зависимости, описывающие работу замкнутых контуров, включающих кинематические пары с неравными передаточными отношениями. Эти зависимости позволяют рассчитывать начальные условия нагружения систем, включающих замкнутый контур с линейными и нелинейными упругими связями, нагрузки упругих связей в любой заданный момент времени и определять возможность возникновения в замкнутом контуре фрикционных автоколебаний,

оценивать их параметры [15].

Биения в системах приводов машин с податливыми связями. Одним из наиболее интересных и малоизученных явлений, возникающих при колебаниях механических систем с упругими связями, являются биения. Исследования и разработки акад. Л.И.Мандельштама и проф. С.П.Стрелкова, в которых впервые предложены коэффициенты связи и связанности колебаний парциальных систем в устройствах электро- и радиотехники, позволяющие по значениям этих коэффициентов определять возможность возникновения биений. Однако будут ли возникать биения в реальной механической системе привода машины, каково увеличение амплитуд колебаний и усилий в различных связях системы, как зависит процесс биений от распределения масс и жесткостей системы и как нужно изменить параметры привода, чтобы предотвратить возникновение или уменьшить влияние биений – все эти вопросы остаются еще недостаточно определенными.

В монографии С.Н.Кожевникова [4] приведены яркие осциллограммы биений, полученные на электронной модели при исследованиях динамики привода широкополосного стана горячей прокатки. Эти осциллограммы и полученные графики зависимости коэффициентов динамичности при различной продолжительности нагружения системы во время захвата полосы приведены, главным образом, для иллюстрации возможностей и эффективности применения электронной модели. Указано лишь, что увеличение жесткости моторного вала привода на 33 % приводит к существенному «усилению обмена энергией между участками привода, а уменьшение жесткости того же участка существенно уменьшает коэффициенты динамичности». Задача определения параметров системы привода, при которой будет уменьшено вредное влияние биений здесь фигурирует, однако не обозначены пути поиска критериев возможности возникновения и оценки параметров биений в системах привода машин. Изучение этой проблемы продолжается в исследованиях, выполняемых в последние годы в ИЧМ совместно с другими организациями [16,17]. Выполнен комплекс исследований многодвигательных приводов наклона конвертеров. Результаты исследований позволили установить, что основной причиной возникновения биений в многомассовых разветвленных системах с симметричными ветвями являются отклонения их упругомассовых и частотных характеристик вследствие разброса величин масс и жесткостей из-за отличия их реальных размеров в пределах допусков при изготовлении [16]. Показано, что предотвратить возникновение биений в подобных системах приводов можно путем применения упругих резинометаллических муфт, обеспечивающих быстрое затухание колебаний в системе привода. Попытка теоретического исследования особенностей и предпосылок возникновения биений предпринята в работе [18].

Автоматизация управления машинами и процессами. Существенное

влияние на создание систем управления оказала разработка С.Н.Кожевниковым нового подхода к автоматизации технологического оборудования, смысл которого состоит в том, что автоматизации конкретного объекта должно предшествовать глубокое изучение особенностей оборудования, режимов его работы и технологии процесса [8]. Он показал, что далеко не всякое старое оборудование можно эффективно автоматизировать, а в ряде случаев для автоматизированного управления необходимо создавать технологические линии, пригодные для автоматизации, или изменять технологию производства. Это были не общие соображения, под его руководством выполнены исследования различных металлургических машин, средств и аппаратуры автоматического управления, электронных, гидравлических и пневматических регуляторов. Созданы новые методы расчета средств и систем управления [5]. Одним из первых он оценил перспективы применения электронной вычислительной техники для научных исследований и для создания систем автоматического управления и подготовил научно-методическую базу для её применения в металлургии [6,11].

В брошюре «Пути автоматизации металлургического оборудования» [8], опубликованной Сергеем Николаевичем в 1958 году, обоснована необходимость создания новой специальности инженеров-механиков по автоматизации оборудования. Главная стратегическая идея, изложенная в этой работе и проиллюстрированная классическим примером многократных безуспешных попыток автоматизации вагон-весов доменных печей, состоит в следующем. Прежде чем создавать систему автоматического управления, необходимо изучить процесс и сделать машину или систему машин пригодными для автоматизации. Для этого нужно глубже изучать, а иногда и корректировать технологические процессы и оборудование, необходимо на основании расчетов делать машины прочными и долговечными; развивать методы исследования машин, шире применять гидроприводы; комплексно изучать технологию и работу машин с использованием теории производительности, анализировать особенности работы технологических линий и непрерывных процессов, более подходящих для автоматизации.

Создание, исследование и разработка упругих резинометаллических элементов машин. В 1960 году акад. И.И.Артоболевский и чл.-корр. АН Украины С.Н.Кожевников опубликовали статью [19], в которой показали целесообразность создания и применения в промышленности резинометаллических соединений. Применение таких новых конструктивных элементов в машинах позволяло решить важные задачи увеличения сроков службы машин, обеспечения виброизоляции, создания безззорных податливых подвижных соединений. Работы по созданию, исследованию и конструированию таких элементов выполнены в Институте черной металлургии и в Институте геотехнической механики

[20]. Результатом этих разработок были совершенствование методов расчета таких изделий, организация производства и применения в металлургических и горных машинах различных резинометаллических амортизаторов и муфт.

Прикладные разработки и промышленные исследования, поставленные и выполненные под руководством С.Н.Кожевникова. Одним из первых крупных исследований, выполненных в промышленных условиях сотрудниками руководимого С.Н. Кожевниковым отдела ИЧМ, было исследование передвигного вагоноопрокидывания. Сложный привод, включавший систему канатов и дифференциал, предназначенный для выравнивания нагрузок ветвей канатного привода, работал недостаточно надежно и требовал значительных ремонтных затрат. Экспериментальные и теоретические исследования позволили установить причины возникновения значительных нагрузок и разработать рекомендации по рациональной настройке механизма подъема и опрокидывания вагонов. В 1958–1960 годах выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований приводов валков непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 1680 завода «Запорожсталь». Эти разработки, показавшие высокую эффективность сочетания результатов теоретических и экспериментальных исследований, по существу потребовали создания оригинальной научно-методической базы для исследования и анализа нагрузок приводов и причин их возникновения. Впоследствии они стали основным научно-методическим аппаратом для исследования оборудования и режимов работы листопрокатных станов различных типов и других машин [7].

В 1960–1965 гг. выполнен цикл исследований блюмингов, слябингов завода «Запорожсталь» и им. Ильича, в котором изучались динамические нагрузки и режимы работы оборудования (главный привод – нажимное устройство – кантователь и манипулятор, рольганги, электропривод и система управления). В рамках этих исследований изучалась спаренная прокатка слитков, взаимодействие горизонтальных и вертикальных валков, были рекомендованы и внедрены рациональные режимы работы обжимных и непрерывных заготовочных прокатных станов [21]. В то же время выполнены исследования пильгерстанов заводов Нижнеднепровского трубопрокатного и им. Ильича с маховичным приводом, где происходили разрушения дисков якорей электродвигателей. На основании результатов экспериментов и моделирования многомассовой электромеханической системы привода и работы подающих аппаратов разработаны и реализованы конструктивные решения и рациональные режимы работы оборудования, которые позволили уменьшить динамические нагрузки, устранить биения и исключить поломки [21].

Сотрудниками отдела под руководством С.Н. Кожевникова выполнялись исследования по разработке режимов работы механизмов

шихтоподачи доменных печей и оценке их пропускной способности, внедрению резинометаллических соединений в приводах сортопрокатных станов и в системах амортизации машин на аглофабриках и в доменных цехах. Выполнены исследования уширительных станов холодной прокатки листов [10], станов горячей прокатки сортовых профилей, петлеобразователей, холодильников, разработаны системы автоматизации сортопрокатных станов и других машин металлургического производства [22].

Выполнен комплекс исследований и разработок, направленных на совершенствование конструкции узлов станов холодной периодической прокатки труб для Никопольского южнотрубного завода. Одним из принципиальных недостатков существовавшей конструкции стана являлось возвратно–поступательное движение неуравновешенной массивной клетки. Для этих станов была разработана оригинальная система пневматического уравнивания, что позволило существенно увеличить их быстроходность и производительность. За эту работу С.Н. Кожевникову и группе сотрудников отдела в 1962 году была присуждена Государственная премия СССР, а лицензия на применение этой разработки была продана итальянской фирме «Иноченти».

Создание и активная деятельность возглавляемого Сергеем Николаевичем отдела механизации и автоматизации в составе технологического Института черной металлургии Академии наук Украины позволило организовать выполнение совместными усилиями механиков, специалистов по автоматизации и технологов комплексных исследований оборудования, систем управления и технологических процессов крупных металлургических агрегатов. Опыт проведения комплексных исследований широко использовался и позволил получить новые знания и технические решения в области прокатного, доменного и сталеплавильного производства. Такие совместные исследования ученых разных специальностей обеспечили ведущую роль Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины в широкомасштабных исследованиях и освоении новых и модернизированных доменных печей, в том числе крупнейших в мире печей № 9 «Криворожстали» и № 5 «Северстали» [23, 24].

Сочетание экспериментальных и теоретических методов исследования динамики машин, пропускной способности технологических линий, систем автоматизированного управления металлургическими агрегатами позволили создать уникальную научно–методическую базу исследования машин и агрегатов, которая продолжает развиваться сегодня и позволяет обеспечить эффективную работу металлургического оборудования и комплексов металлургического производства. Методика исследований динамики металлургических машин, по существу, была разработана и изложена в работах [7,11], однако её компактное и концентрированное изложение отсутствовало,

Такое изложение основных методических положений исследования динамики электромеханических систем приводов машин с нелинейными упругими связями выполнено в работе [25].

Для создания и эффективного применения новых машин, превосходящих мировой уровень по технико-экономическим показателям, надежности, долговечности и ремонтпригодности необходимо решать следующие научно-технические задачи: анализ и обобщение опыта эксплуатации, развитие методов расчета и исследования, методик и результатов диагностики состояния и режимов работы металлургического оборудования, изучение причин аварий; совершенствование методов расчета динамики, прочности и выносливости деталей машин, нелинейных систем электро- и гидромеханических приводов машин с учетом податливости связей; разработка методов расчета и моделирования металлургических машин, оснащенных перспективными электроприводами переменного тока с частотным регулированием скорости и эффективными компактными гидроприводами; создание и широкое применение новых средств контроля и автоматизированного управления работой машин и технологических линий на основе диагностики их состояния и режимов работы.

Сергей Николаевич Кожевников уделял много внимания подготовке кадров, предвидя потребности развития металлургии. Он организовал и обеспечил эффективную работу по подготовке инженеров-механиков по динамике машин и автоматизации металлургического производства. Им написано и опубликовано 33 монографии, учебников и справочных пособий, более 500 статей, получено 120 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством подготовлено и защищено более 150 докторских и кандидатских диссертаций. С.Н.Кожевников активно организовывал и регулярно проводил научные семинары в Днепропетровске и в Киеве, на которых обсуждались актуальные вопросы механики, выступали ведущие специалисты и учились поколения молодых ученых.

Сергей Николаевич был щедрым, но требовательным педагогом, он учил и увлекал своими знаниями студентов, аспирантов и соискателей, готовил кандидатов и докторов технических наук. Под его руководством выполнен большой объем научных исследований и разработок, которые отличаются темной связью между теорией и практикой. Многие разработки, направленные на развитие машиноведения, динамики машин, гидравлических и электромеханических приводов, выполнен его учениками и последователями. Некоторые из разработок этого направления опубликованы в монографиях [26, 27]. Изданная Российской академией наук книга о жизни и деятельности С.Н.Кожевникова, его научных публикациях, монографиях и патентах [28] сохранит для новых поколений исследователей память об этом незаурядном, многогранном

ученом–механике и педагоге, о его научных разработках.

Заключение.

Творческое наследие выдающегося ученого механика, чл.–корр. Академии наук Украины С.Н.Кожевникова велико и многогранно, оно требует анализа, изучения и развития. Создание научной базы для решения задач динамики металлургического оборудования и его автоматизации, организация подготовки кадров и формирование на Украине крупнейшей научной школы по динамике машин вывело украинских ученых в число лидеров мировой науки по этим направлениям. Реализация и развитие идей и разработок Сергея Николаевича обеспечивает достоверное определение нагрузок машин, увеличивает точность расчетов на прочность и долговечность, предотвращение поломок и аварий, является основой научно–методической базы диагностики состояния оборудования. Исследования и разработки в области механики и динамики машин, автоматизации металлургического оборудования, диагностики состояния машин продолжаются в работах его учеников и последователей.

1. *Кожевников С.Н.* Эпициклические передачи. М.–Л.: Машгиз, 1939. – 90 с.
2. *Кожевников С.Н., Пруслин М.М.* Механика швейных машин. – М.–Л.: Гизлегпром. 1948. – 316 с.
3. *Кожевников С.Н.* Теория механизмов и машин. М.: « Машиностроение» , 1969.– 584с.
4. *Кожевников С.Н., Есипенко Я.И., Раскин Я.М .* Элементы механизмов. М.: ОборонГИЗ, 1956.– 1078с.
5. *Кожевников С.Н.* Аппаратура и механизмы гидро–, пневмо– и электроавтоматики металлургических машин. – М.К.: МашГИЗ, 1961.– 550 с.
6. *Кожевников С.Н.* Динамика машин с упругими звеньями. – К.: Изд.АН УССР, 1961.– 160с.
7. *Кожевников С.Н.* Определение действительных нагрузок в линиях передач тяжелых машин. (Доложено 27.09.1951). Тр.семинара по ТММ, том XIII. – Вып.51. – М.: Изд. АН СССР. 1953.– С.5–26.
8. *Кожевников С.Н.* Пути автоматизации металлургического оборудования. – К.: Изд. АН УССР. –1958. – 14 с.
9. *Кожевников С.Н., Большаков В.И.* Динамические нагрузки главных линий прокатных станов и учет этих нагрузок при расчетах на прочность и выносливость // Тр. 1 Всесоюзной конференции по расчетам на прочность металлургических машин. Сб. тр. ВНИИМетмаш. – № 23. – 1968. – С. 28–46.
10. *С.Н.Кожевников, В.И.Большаков.* Взаимодействие упругих механических систем станины и привода при нагружении // В сб. «Теория механизмов и машин». – Вып.10. – 1971.– С.3–8.
11. *Кожевников С.Н.* Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наук, думка. 1986.– 288 с.
12. *Динник А.Н.* Избранные труды. – Т.1. – К.: Изд. АН УССР, 1952. – 480 с.
13. *Большаков В.И.* Уравнения движения и электронное моделирование механических систем с зазорами и упругими связями. // Модернизация и

- автоматизация оборудования прокатных станов. Тр. ИЧМ Украины. – Т.27. – М.: Металлургия, 1967. – С.209–215.
14. *Большаков В.И.* О математическом описании и некоторых особенностях работы замкнутых механических систем // Динамика металлургических машин. Тр. Института черной металлургии МЧМ СССР. – Т.31. – М.: Металлургия, 1967.– С.13–17.
 15. *Большаков В.И.* Особенности нагружения замкнутого контура с нелинейными упругими связями. // Динамика машин. – М.: Изд. Наука, 1974. – С.17–22.
 16. *Уменьшение динамических нагрузок в приводе широкополосных станов.* // В.В.Веренев, В.И.Большаков, Ю.Н.Белобров и др.. // Сталь. – 1999. – № 1. – С.96–100.
 17. *Большаков В.И., Буцукин В.В.* Исследование динамики привода наклона конвертера. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 1. – С. 72–78.
 18. *Большаков В.И.* Динамика механических систем с упругими связями. // Динамика и прочность горных машин. ИГТМ. – Вып..2. –К.: Наукова думка, 1974. – С.55–64.
 19. *Артоблевский И.И., Кожевников С.Н.* Резинометаллические соединения // Вестник машиностроения. – 1960. – № 8. – С. 72–80.
 20. *Потураев В.Н.* Резиновые и резинометаллические детали машин. – М.: Машиностроение, 1966. – 300 с.
 21. *Механизация* и автоматизация металлургического производства. Тр. ИЧМ, т. XVI под редакцией С.Н. Кожевникова. – К.: Изд. АН УССР, 1962. – 172 с.
 22. *Автоматизация непрерывных мелкосортных станов.* / А.В. Праздников, В.С. Егоров, С.Д.Гринберг, О.Н.Кукушкин и др.. – М.: Металлургия, 1975. – 216 с.
 23. *Большаков В.И.* Научные направления деятельности отдела технологического оборудования и систем управления. //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Вып..6. – 2003. – С.343–355.
 24. *Большаков В.И.* Важнейшие научно–технические разработки отдела технологического оборудования и систем управления. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. –Вып.8. – 2004. – С.347–362.
 25. *Большаков В.И.* Методика исследования динамики приводов металлургических машин. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 3. – С.72–78.
 26. *Праздников А.В.* Гидропривод в металлургии. – М.: Металлургия. – 1973. – 336 с.
 27. *Переходные процессы в электродинамических системах приводов металлургических машин.* /В.И. Большаков, В.Е.Злобинский, Б.А.Харлан, Л.И.Цехнович и др. – Дн–ск, УГХТУ. – 2002. – 423 с.
 28. *Сергей Николаевич Кожевников.* 1906–1988. / А.Н.Боголюбов, Е.Я.Антонюк, С.А.Федосова. – М.: Наука, 1998. – 236 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. И.Г.Узловым.