

Хроника

Научная школа прочности Центрального института авиационного моторостроения им. П. И. Баранова

К 75-летию основания института

Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова (ЦИАМ) был образован по Постановлению Правительства СССР в сентябре 1930 г. после обращения группы ученых, в котором говорилось об острой необходимости создания в стране концентрированной базы опытного строительства авиационных двигателей. В 1933 г. институту было присвоено имя руководителя авиационной промышленности Петра Ионовича Баранова, погибшего в авиационной катастрофе.

Исследования в области динамики и прочности всегда были одним из важнейших направлений деятельности ЦИАМ. Результаты многих проведенных учеными ЦИАМ работ вышли за рамки отраслевых задач и нашли применение в смежных отраслях машиностроения, способствуя развитию механики и машиноведения. Вместе с тем основным объектом исследований служили авиационные двигатели различного применения и агрегаты трансмиссий вертолетов.

Комплексное воздействие различных видов нагрузок на детали авиационных двигателей, сочетание разных повреждающих факторов, сложность и новизна применяемых для создания этих деталей конструктивных решений, материалов и технологических процессов, необходимость принятия в ограниченные сроки ответственных решений, от которых зависят как безопасность эксплуатации авиационной техники, так и эффективность использования значительных денежных средств, оказали большое влияние на формирование школы прочности ЦИАМ. Среди главных принципов и традиций этой школы можно выделить следующие.

1. Выбор основных направлений исследований всегда определялся практическими проблемами, возникающими при развитии авиадвигателестроения и авиаредукторостроения. Решать эти проблемы (прежде всего предотвращать поломки) необходимо было, как правило, в сжатые сроки.

2. При анализе дефектов следовало выявить их подлинные причины и дать конкретные рекомендации. Однако важно было на базе исследований частных случаев сформулировать общие (зачастую носившие фундаментальный характер) проблемы механики и машиностроения и решать их с постоянной экспериментальной проверкой теоретических результатов.

3. Наряду с разработкой общих методов решений задач необходимо было создавать наиболее простые инженерные подходы, пригодные для практического применения в конструкторских бюро и на заводах.

Научная школа прочности ЦИАМ снискала широкую известность. Ее основоположниками и руководителями по праву считаются И. Ш. Нейман, С. В. Серенсен, Р. С. Кинасошвили и И. А. Биргер.

Руководители школы прочности ЦИАМ



И. Ш. Нейман



Р. С. Кинашвили



С. В. Серенсен



И. А. Биргер

При этом под школой прочности ЦИАМ всегда понимались не только научные сотрудники и инженеры института, но и многие ученые и инженеры отечественной авиационной промышленности, работавшие в опытных конструкторских бюро (ОКБ) и на заводах отрасли в постоянном тесном научно-техническом сотрудничестве со специалистами ЦИАМ.

С именем лауреата Государственной премии д-ра техн. наук проф. И. Ш. Неймана связаны прежде всего важные расчетные исследования динамики поршневых двигателей. В этот период в институте был сформирован коллектив прочнистов, а сам ЦИАМ стал школой подготовки кадров прочнистов для авиационной промышленности страны.

С 1940 по 1964 гг. в ЦИАМ исследования в области прочности проводились под руководством лауреата Государственной премии, заслуженного деятеля науки и техники РФ д-ра техн. наук проф. Р. С. Кинашвили, который хорошо понимал необходимость сочетания глубоких расчетных и

экспериментальных исследований прочности деталей двигателей. Р. С. Кинасошвили разработал методы расчета на прочность деталей поршневых двигателей, а также активно работал в области расчета на прочность дисков газотурбинных двигателей (ГТД). Он написал учебник “Сопротивление материалов”, который выдержал шесть изданий.

С 1942 по 1967 гг. исследования в области конструкционной прочности в институте возглавлял лауреат Государственной премии д-р техн. наук проф., академик АН Украины С. В. Серенсен. 100-летие со дня рождения этого выдающегося ученого отмечалось 29 августа 2005 г. С. В. Серенсен многие годы руководил кафедрой “Сопротивление материалов” в МАТИ, активно сотрудничал со многими научно-исследовательскими организациями, воспитал большое количество известных ученых и инженеров. Он заложил основы расчета деталей двигателей на выносливость и создал теоретические основы проектирования оборудования для исследования многоциклового усталости.

Переход в послевоенные годы авиации на газотурбинные двигатели привел к появлению новых сложных задач, для решения которых необходимо было развивать и использовать методы механики деформируемого твердого тела.

С 1964 по 1993 гг. руководителем прочностных исследований в ЦИАМ был выдающийся ученый – механик и инженер, дважды лауреат Государственной премии, заслуженный деятель науки и техники РФ д-р техн. наук проф. И. А. Биргер. Будучи настоящим энциклопедистом, он внес существенный вклад в формирование и развитие целого ряда научных направлений, многие из которых объединяются термином “Строительная механика турбомашин”.

Под руководством И. А. Биргера были выпущены Нормы прочности ГТД и Нормы прочности жидкостных ракетных двигателей, руководства для конструкторов, многие справочники. И. А. Биргер много сделал для становления современных методов расчета динамики и прочности двигателей, развития методов подтверждения ресурса, разработки методов диагностики технического состояния двигателей, а также создания конструкций двигателей из жаропрочных неметаллических материалов. Им было написано и издано более 20 книг, многие из которых и сегодня являются настольными у специалистов, он оказал большое влияние на формирование коллективов, занимающихся вопросами прочности в научно-исследовательских центрах, промышленных предприятиях и вузах Москвы, Санкт-Петербурга, Киева, Самары, Уфы, Запорожья, Перми, Рыбинска, Казани, Омска, Днепропетровска и других городов. Изданный совместно с Р. Р. Мавлютовым учебник “Сопротивление материалов” выдержал несколько изданий.

Отметим некоторые из наиболее важных направлений исследований прочностов ЦИАМ, приводя за недостатком места лишь имена научных руководителей.

Применительно к поршневым двигателям были разработаны детальные методы расчета кинематики и динамики кривошипно-шатунного механизма и устранения опасных крутильных колебаний валов (И. Ш. Нейман, Р. С. Кинасошвили, В. Я. Натанзон, В. К. Житомирский), заложены основы расчета

деталей двигателя на выносливость (С. В. Серенсен) и выполнены основополагающие исследования по конструированию и динамике зубчатых передач редукторов (В. А. Доллежал, А. И. Петрусевич), а также резьбовых соединений (И. А. Биргер).

Работы И. А. Биргера и его учеников в области строительной механики турбомашин проводились по таким направлениям, как разработка теории деформирования гибких лопаток в поле центробежных сил, теории естественно закрученных стержней применительно к расчетам на прочность и колебания рабочих лопаток вентиляторов и компрессоров, расчет разрушающей частоты вращения дисков, развитие теории упругопластических деформаций, включающей ставший классическим “метод переменных параметров упругости”, разработка методов расчета критических частот вращения соосных роторов и систем ротор–корпус при произвольных прецессиях, решение задач термопрочности, термопластичности и ползучести конструкций, в том числе охлаждаемых, разработка теории остаточных деформаций, а также многим другим, не менее важным направлениям.

Исследования конструкционной прочности деталей авиадвигателей, начатые С. В. Серенсеном и продолженные его учениками, опирались на обобщение очень большого объема экспериментальных данных и охватывали широкий круг проблем, связанных с изучением свойств материалов деталей авиадвигателей применительно к конкретным сложным конструктивным формам, технологическим процессам и реальным условиям эксплуатации двигателей. Сюда относятся вопросы много- и малоциклового усталости, термоусталости, длительной прочности и нестационарной ползучести с учетом их статистической природы и совместного влияния на ресурс конструкций. По мере расширения круга используемых конструкционных материалов и разработки новых технологических процессов расширялся и спектр исследований, охватывающий гранулируемые и монокристаллические сплавы, композиционные материалы, жаропрочную керамику и углерод-углеродные материалы и т.д.

Большое внимание уделялось теории и экспериментальным исследованиям автоколебательных процессов (флаттера) в лопаточных машинах, начатым в 50-х годах А. А. Коломийцевым. Необходимость совместного изучения нестационарной аэродинамики и механики лопаточных венцов потребовала объединения усилий специалистов различных направлений с привлечением наряду со специалистами ЦИАМ сотрудников некоторых академических институтов и конструкторских бюро. Многие годы координатором этих усилий был проф. Л. Е. Ольштейн. Используемые методы проектирования и экспериментальной проверки работы компрессоров и вентиляторов позволили практически ликвидировать опасность возникновения их автоколебаний в условиях эксплуатации.

В связи с постоянной тенденцией облегчения корпусов авиадвигателей большую актуальность приобрела проблема расчета их прочности и устойчивости с учетом сложной реальной конфигурации и комбинированных условий нагружения, что нашло отражение в работах И. А. Биргера, В. М. Даревского и их учеников. Изучено влияние анизотропии конструкции, оребре-

ния, локального приложения усилий и других факторов, причем расчетные методы были апробированы специальными стендовыми испытаниями.

Создание авиационного двигателя невозможно без проведения большого комплекса испытаний, подтверждающих надежность его узлов и систем. Разработка методов и программ таких испытаний являлась важным направлением работ ЦИАМ. В ЦИАМ была создана мощная отраслевая экспериментальная база для исследований динамики и прочности двигателей. Значительное развитие получили работы по теории надежности и диагностике технического состояния двигателей, начатые И. А. Биргером и В. М. Акимовым, а также экспериментальные работы по раннему обнаружению дефектов.

В связи с разработкой ракетных двигателей на жидком (ЖРД) и твердом (ПВРД) топливе специалисты ЦИАМ принимали активное участие в расчетно-экспериментальных работах по обеспечению прочности турбонасосных агрегатов, снижению вибраций корпусов. В ЦИАМ были разработаны нормы прочности этих двигателей.

Изменение в последнее время условий работы (резкое уменьшение объема финансирования, сокращение количества разрабатываемых двигателей, снижение интенсивности эксплуатации авиационной техники) привело к сокращению объема фундаментальных исследований, увеличению количества контрактных работ, направленных на разработку конкретных проектов. Существенными были также изменения в направлениях научных исследований.

Прежде всего необходимо отметить развитие методов расчетов на статическую и динамическую прочность деталей и узлов авиадвигателей на базе современных достижений механики с использованием новейших компьютерных технологий. Опыт показал, что наиболее эффективным является сочетание расчетных моделей разного уровня, применение как коммерческих, так и разработанных в институте программных комплексов, использование (при необходимости) кластеров. Все шире применяется комплексный анализ проблем на основе междисциплинарных подходов. Особенно следует отметить моделирование работы двигателей в нерасчетных условиях (при попадании птиц, разрушении лопаток, валов и т.д.), поскольку эти работы важны для обеспечения безопасности эксплуатации, а экспериментальные исследования работы двигателя в таких условиях чрезвычайно дорогие, а зачастую и крайне сложно реализуемые.

Существенные изменения претерпели подходы к управлению ресурсами двигателей, в том числе к определению ресурса основных деталей. В частности, получили развитие методы подтверждения ресурса на основании расчетов напряженно-деформированного состояния деталей на нестационарных режимах работы и статистически обоснованных данных по конструкционной прочности материалов, а также с учетом возможного безопасного развития трещин от имеющихся после изготовления (из-за ограниченной чувствительности применяемых методов неразрушающего контроля) или возникших в эксплуатации дефектов; вероятностно-статистические подходы, позволяющие обеспечить требуемую вероятность неразрушения. Все это привело к необходимости более тщательного исследования конструкцион-

ной прочности сплавов, особенно сопротивления перспективных сплавов малоцикловой усталости при жестком нагружении, сопротивления сплавов развитию трещин, прочностных свойств при больших длительностях и (или) большом количестве циклов нагружения, прочности и долговечности при совместном действии различных повреждающих факторов, а также исследования влияния на конструкционную прочность технологической наследственности, статистической оценки распределений в деталях дефектов, обусловленных ограниченной чувствительностью применяемых методов неразрушающего контроля. Необходимо было сформировать удобную для использования базу данных по конструкционной прочности сплавов.

Для создания конкурентоспособных перспективных авиационных двигателей большое значение имеют исследования особенностей деформирования и разрушения гранулируемых и монокристаллических сплавов, интерметаллидов, конструкционной керамики, различных композиционных материалов и оптимизация на основе прочностных исследований ключевых технологий, в частности легких широкохордных лопаток (с применением композиционных материалов или титановых пустотелых) вентиляторов, блингов и элементов роторов из композиционных материалов, монокристаллических лопаток турбин с новыми высокоэффективными схемами охлаждения и теплозащитными покрытиями, неметаллических элементов высокотемпературных турбин и камер сгорания, керамических и гибридных (с керамическими телами качения) подшипников качения, элементов статоров из композиционных материалов и т.д.

Актуальность задачи предотвращения опасности разрушения от многоцикловой усталости обуславливает необходимость решения широкого круга проблем, связанных с исключением автоколебаний и опасных резонансных колебаний, развитием методов прогнозирования вибрационных напряжений в деталях, повышением конструкционного демпфирования, упрочнением материала и снижением его чувствительности к концентрации напряжений, совершенствованием методов измерений и анализа быстропротекающих процессов.

Острая проблема обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации стареющего парка авиационной техники и создание условий для реализации новых прогрессивных форм технического обслуживания обусловили развитие методов диагностики технического состояния. При этом новое качество диагностики технического состояния обеспечивается как путем разработки новых уникальных методов (кинематометрия зубчатых колес, бесконтактные методы исследования колебаний и т.д.), так и путем совершенствования диагностических критериев, реализации многопараметрической диагностики, анализа трендов, применение нейронных сетей, систем удаленной диагностики.

По всем указанным проблемам в последние 10–15 лет получены новые важные результаты.

Большое значение имеет усовершенствование методов нормирования и подтверждения прочности в процессе сертификации авиационных двигателей и редукторов вертолетов с учетом все возрастающих международных требований к обеспечению безопасности полетов. Эти работы осуществ-

вляются на основании обобщения отечественного и зарубежного опыта создания и эксплуатации авиационной техники.

За последние 10–15 лет разработаны нормативные документы с учетом достижений в области расчетных и экспериментальных исследований прочности двигателей, их узлов и деталей, в частности существенного роста возможностей расчетного анализа, применения новых материалов и конструктивно-технологических решений, а также современных требований к сертификации и методам эксплуатации авиационной техники. В число таких документов входят прежде всего Нормы прочности ГТД двигателей военной и гражданской авиации (2004), Нормы прочности авиационных поршневых двигателей (1999), Нормы прочности валов воздушных винтов (1999), подготовленные совместно с АРМАК Нормы летной годности (авиационные правила) АП-33 для маршевых двигателей (1994, 2004) и АП ВД для вспомогательных двигателей (1999), Положения об установлении и увеличении ресурсов и сроков службы ГТД гражданской авиации (совместно с ГосНИИГА, 1994, 2005) и военной авиации (с НИУ ВВС, 2000, 2004), Положения об установлении и увеличении ресурса агрегатам трансмиссии вертолетов (2004), об установлении и увеличении ресурса подшипникам качения двигателей и агрегатов трансмиссий гражданской авиации (с ВНИИПП и ГосНИИГА, 2004), Положения о необходимых работах до начала летных испытаний двигателей (2004) и агрегатов трансмиссий вертолетов (2003), общие технические условия на приемку двигателей ОТУ (2000) и др. Подготовлено к выпуску “Руководство для конструкторов по обеспечению конструкционной надежности ГТД”, завершаются работы по “Руководству для конструкторов по ресурсному проектированию ГТД”.

В последнее время в институте большое внимание уделялось работам по наземному применению ГТД в электростанциях, газоперекачивающих агрегатах, машинах пожаротушения и т.д. Появилась необходимость в решении целого ряда проблем, связанных с обеспечением прочностной надежности и ресурса наземных газотурбинных установок (ГТУ), с формированием современных норм прочности, созданием технического регламента по обеспечению безопасности эксплуатации ГТУ, разработкой метода подтверждения требуемого ресурса ГТУ с учетом особенностей условий их эксплуатации и т.д. Разработка необходимых нормативных документов осуществлялась совместно со специалистами ВТИ, ВНИИГАЗ, ЦКТИ и других предприятий и организаций в рамках созданного на базе ЦИАМ Технического комитета по стандартизации ТК144 (председатель Ю. А. Ножницкий), работающего в тесном контакте с соответствующими комитетами ISO и ASME.

Техническим комитетом по стандартизации ТК144 выпущен ряд стандартов по ГТУ. Ряд стандартов и необходимый для обеспечения проведения сертификации ГТУ технический регламент по безопасности находятся на стадии разработки. В связи с этим в ЦИАМ проводятся работы по прогнозированию характеристик материалов деталей ГТУ при больших наработках, по определению допустимых повреждений и прогнозированию ресурса деталей ГТУ, анализируется вибрационное состояние ГТУ, разрабатываются методики расчета прочности ГТУ при сейсмических воздействиях и т.д.

Как уже отмечалось, развитие научной школы ЦИАМ всегда было тесно связано с решением конкретных проблем обеспечения прочности отечественных авиационных двигателей, а также агрегатов трансмиссий вертолетов.

На протяжении 75 лет не было в СССР и СНГ ни одного авиационного двигателя, в обеспечение прочности которого ЦИАМ не внес существенного вклада, начиная с формирования технического задания на его создание и заканчивая исследованием причин обнаруженных в процессе эксплуатации двигателей дефектов и разработкой мероприятий по предотвращению этих дефектов. В ЦИАМ в течение многих лет функционировали и продолжают действовать бригады по прочности изделий различных конструкторских бюро. Разработанные в ЦИАМ нормативно-технические документы, методы прочностных расчетов и испытаний широко применяются при проведении обязательной сертификации авиационных двигателей и ГТУ. В 1994 г. на базе ЦИАМ создан центр сертификации “Качество”, экспериментальная база института аккредитована для проведения сертификационных испытаний.

Еще в начальный период развития газотурбинных двигателей специалисты ЦИАМ активно способствовали созданию в ОКБ подразделений прочности и надежности, передавая свой опыт в проведении как расчетов, так и экспериментальных исследований. Во многих ОКБ сформировались высококвалифицированные коллективы специалистов, которые, безусловно, могут быть отнесены к научной школе ЦИАМ.

Вычислительные возможности, экспериментальная база и уровень подготовки специалистов предприятий отрасли позволяют совместно с ЦИАМ проводить исследования с целью создания перспективных и совершенствования эксплуатирующихся ГТД. Совместная работа сотрудников ЦИАМ с руководителями и ведущими специалистами ОКБ и заводов является многолетней традицией, что позволяет постоянно определять актуальные направления исследований, в сжатые сроки решать возникающие задачи и оперативно использовать результаты решений на практике.

Большая научная и методическая работа сотрудников института отражена в сотнях публикаций в периодических изданиях как у нас в стране, так и за рубежом. Многие результаты исследований опубликованы в подготовленных в институте тематических сборниках: “Прочность и динамика авиационных двигателей”; “Проблемы прочности и динамики в авиадвигателестроении”; “Новые технологические процессы и надежность ГТД”, а также в других изданиях.

По результатам исследований в области прочности и надежности опубликован целый ряд монографий И. А. Биргера, И. Ш. Неймана, С. В. Серенсена, Б. Ф. Шорра, В. М. Даревского, Р. А. Дульнева, Б. Ф. Балашова, Э. Б. Вулгакова, А. Н. Петухова, В. П. Иванова, И. В. Демьянушко, Т. Д. Каримбаева и др. Сотрудники института приняли активное участие в организации ряда международных конференций по конструкционной прочности, надежности, ресурсу, сертификации двигателей. Ими опубликовано множество статей в специализированных отечественных и зарубежных изданиях. Представлено большое количество докладов на конференциях, проводимых различными международными организациями (AGARD, ESIS,

ASME и др.) в США, Канаде, Франции, Германии, Великобритании, Нидерландах, Бельгии, Швеции, Италии, Австрии, Польше, Китае и других странах, на национальных съездах и других форумах ученых. В частности, специалистами ЦИАМ было сделано семь докладов на прошедшей в 2005 г. в Москве Первой европейской авиакосмической конференции.

Руководители школы прочностной надежности ЦИАМ всегда уделяли большое внимание подготовке кадров. В течение многих лет в отделении прочности и отделе математического моделирования проходят обучение студенты базовой кафедры МФТИ. Многолетние научные и творческие связи существуют между ЦИАМ и кафедрами прикладной механики, прочности летательных аппаратов, прикладной математики и энергетических установок МВТУ им. Н. Э. Баумана, а также рядом кафедр МАИ, МАТИ, МЭИ, МГТУ ГА, МАДИ, МАМИ, авиационных вузов Самары, Уфы, академии им. Н. Е. Жуковского и др.

Для подготовки высококвалифицированных специалистов в аспирантуре ЦИАМ имеются специальности “Динамика и прочность машин приборов и аппаратуры” и “Системы автоматизированного проектирования”.

С 1938 г. Ученому совету института предоставлено право принимать к защите кандидатские, а с 1943 г. – докторские диссертации по динамике и прочности авиационных двигателей. Сотрудниками ЦИАМ – специалистами в области динамики и прочности во время работы в институте было защищено более 20 докторских и более 80 кандидатских диссертаций.

Одно из условий успешного решения коллективом прочностов ЦИАМ сложных научных задач – наличие высококвалифицированных инженеров-расчетчиков, экспериментаторов, конструкторов, технологов, техников, начальников стендов, станочников, механиков, мотористов, электриков, прибористов, тензометристов, лаборантов.

Научные сотрудники и инженеры ЦИАМ постоянно участвуют в работе различных отечественных и зарубежных научных организаций, занимающихся вопросами безопасности, эксплуатации, прочности и надежности конструкций, а также тесно взаимодействуют с отраслевыми, академическими институтами и вузами.

В годовщину 95-летия со дня рождения Георгия Степановича Писаренко особенно хочется подчеркнуть плодотворное многолетнее сотрудничество ЦИАМ с научно-исследовательскими институтами и конструкторскими бюро Украины, носившее разносторонний характер. Работы Г. С. Писаренко, В. Т. Трощенко, В. В. Матвеева и ряда других сотрудников Института проблем прочности НАН Украины (ИПП) по вопросам усталости, демпфирования механических колебаний, аэроупругости лопаточных машин и многим другим проблемам прочности активно используются при расчетах на прочность и колебания деталей авиадвигателей. Специалисты ЦИАМ регулярно участвовали в научных совещаниях по тепловым напряжениям в элементах конструкций (Киев, Канев), а также в конференциях по вопросам рассеяния энергии при колебаниях механических систем, а в последнее время – по проблемам динамики и прочности в газотурбостроении (Киев), авиадвигателестроительном конгрессе (Рыбачье), публиковали свои работы в сборниках научных трудов по авиационно-космической технике и

технологии (Харьков), журнале “Проблемы прочности” и других изданиях. С. В. Серенсен, будучи академиком Академии наук Украины, энергично способствовал научному взаимодействию между специалистами ЦИАМ и ИПП АН Украины по проблемам конструкционной прочности. Б. Ф. Шорр (ЦИАМ) и Ю. С. Воробьев (Институт проблем машиностроения НАН Украины, Харьков) опубликовали в соавторстве монографию “Теория закрученных стержней”.

Исключительно тесное сотрудничество всегда существовало между ЦИАМ и ЗМКБ “Прогресс” им. А. Г. Ивченко, а также Запорожским моторостроительным заводом (в настоящее время ОАО “Мотор-Сич”). Ученые и инженеры ЦИАМ оказывали активную помощь в создании, доводке, испытаниях и сертификации авиационных газотурбинных двигателей всех поколений (АИ-20, АИ-24, АИ-25, Д-36, Д-436, Д-18Т, Д-27, ТВЗ-117 и их модификаций), а также созданных на их основе газотурбинных установок. За эти работы И. А. Биргеру вместе с коллегами из Запорожья была присуждена Государственная премия СССР. За работы по вибрационной диагностике технического состояния авиадвигателей сотрудникам ЦИАМ Б. Ф. Шорру и В. А. Карасеву в числе других специалистов была присуждена Государственная премия УССР. Коллеги из Запорожья и Николаева входят в состав работающего на базе ЦИАМ техкомитета по стандартизации “Газовые турбины”.

При переходе от плановой экономики к рыночным отношениям ЦИАМ, как и вся авиационная промышленность России и Украины, испытывает большие финансовые и кадровые трудности. Несмотря на это, институту в целом и его школе прочнистов в частности удалось не только сохраниться как головной научно-технической организации авиационного двигателестроения, но и значительно расширить свой международный авторитет. Установлены научные связи и проводятся расчетно-экспериментальные исследования по заказам ведущих мировых авиастроительных фирм разных стран.

В настоящее время в ЦИАМ в области динамики и прочности продолжают работать 12 докторов наук, большое количество кандидатов наук и других высококвалифицированных специалистов. В коллективе прочнистов много талантливой молодежи и студентов, что позволяет с оптимизмом смотреть в будущее.

*Ю. А. Ножницкий,
Ю. М. Темис,
Б. Ф. Шорр*