

УДК 621.039.5

Кафедре Тепломассообменных процессов и установок — 60 лет

А. Б. Гаряев, И. В. Яковлев

Сведения об авторах

Гаряев Андрей Борисович — доктор технических наук, зав. кафедрой Тепломассообменных процессов и установок МЭИ, e-mail: GaryaevAB@mpei.ru

Яковлев Игорь Васильевич — кандидат технических наук, профессор кафедры Тепломассообменных процессов и установок МЭИ

Кафедра Тепломассообменных процессов и установок была создана в 1956 г. в результате разделения кафедры Промышленной теплоэнергетики на две: Сушильных и теплообменных установок (СТУ) и Теплоэнергоснабжения промышленных предприятий (ТЭПП). В настоящее время кафедра ТЭПП — это кафедра Промышленных теплоэнергетических систем. В 1971 г. кафедра СТУ была переименована в кафедру Теплообменных процессов и систем кондиционирования (ТПСК), а в 1979 г. — в кафедру Тепло-массообменных процессов (ТМПУ).

Кафедру СТУ возглавил П. Д. Лебедев, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, первый декан образованного тремя годами раньше факультета Промышленной теплоэнергетики (ПТЭФ). Руководил он кафедрой до 1971 г.

В 1971 — 1973 гг. кафедру возглавлял В. В. Галактионов, в настоящее время — доктор технических наук, профессор. В различное время кафедрой заведовали: доктор технических наук, профессор Д. А. Лабунцов (1973 — 1976); заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор В. П. Мотулевич (1976 — 1988); лауреат Государственной премии СССР, доктор технических наук, профессор Ю. М. Павлов (1988 — 2004); доктор технических наук, член-корреспондент РАН Ю. Г. Назмеев (2004 — 2006). С 2006 г. заведующим кафедрой является доктор технических наук, профессор А. Б. Гаряев.

С момента основания и по настоящее время кафедра готовила инженеров по специальности «Промышленная теплоэнергетика», с 1962 г. — инженеров по специальности «Машины и аппараты по кондиционированию воздуха», позже преобразованную в «Авиационная и ракетно-космическая теплотехника». В 2001 г. была открыта новая специальность — «Энергообеспечение предприятий». В настоящее время кафедра в рамках направления «Теплоэнергетика и теплотехника» выпускает бакалавров по профилям: «Энергообеспечение предприятий», «Промышленная теплоэнергетика» и магистров по программе подготовки «Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки».

Основные направления научных исследований кафедры:

проведение проблемно-ориентированных исследований и разработка научно-технических решений создания энергосберегающих экологически чистых технологий термохимической регенерации теплоты продуктов сгорания природного газа;

разработка и совершенствование перспективных систем утилизации низкопотенциальной теплоты отходящих влажных газов технологических установок;

исследование процессов тепло- и массопереноса в элементах двухфазных пульсационных насосов теплового действия с целью повышения их энергетической эффективности в системах тепло- и хладоснабжения;

численное моделирование нестационарных процессов гидродинамики и теплообмена при турбулентном течении несжимаемой и сжимаемой жидкости в каналах;

разработка методов интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах.

The MPEI Department of Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations turns 60

A. B. Garyaev, I. V. Yakovlev

Information about authors

Garyaev Andrey B. – Dr.Sci. (Techn.), Head of Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations Dept., MPEI, e-mail: GaryaevAB@mpei.ru

Yakovlev Igor V. – Ph.D. (Techn.), Professor of Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations Dept., MPEI

The Moscow Power Engineering Institute's Department of Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations was established in 1956 as a result of dividing the Department of Industrial Thermal Engineering into two units: the Department of Drying and Heat Transfer Installations (DHTI) and the Department of Heat Supply Systems for Industrial Enterprises (HSSIE). Nowadays, the Department of HSSIE has become the Department of Industrial Thermal Engineering Systems (ITES). In 1971, the Department of DHTI was renamed into the

Department of Heat-Transfer Processes and Air Conditioning Systems (HTP & ACS), and in 1979 it was renamed into the Department of Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI).

The newly established Department of DHTI was headed by P.D. Lebedev, the Honored Worker of Science and Engineering, Doctor Techn. Sci., Professor and the first dean of the Faculty of Industrial Thermal Engineering, which was established in 1953. P.D. Lebedev headed the department till 1971.

In different years, the Department of HMTPI was headed by V.V. Galaktionov (1971–1973), who is presently Doct. Techn. Sci. and Professor; Doct. Techn. Sci. and Professor D.A. Labuntsov (1973–1976); the Honored Worker of Science and Engineering, Doct. Techn. Sci. and Professor V.P. Motulevich (1976–1988); the Soviet Union State Prize winner, Doct. Techn. Sci. and Professor Yu.M. Pavlov (1988–2004); and the Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. Techn. Sci. and Professor Yu.G. Nazmeev (2004–2006). Since 2006, the department is headed by Doct. Techn. Sci. and Professor A.B. Garyaev.

Since the time of its foundation and till nowadays, the Department has been educating engineers in the discipline Industrial Thermal Engineering; since 1962, engineers in the discipline Air Conditioning Machines and Devices, which was later transformed into the discipline Aircraft and Rocket-and-Spacecraft Thermal Engineering. In 2001, a new discipline Power Supply of Enterprises was added. At present, the Department graduates bachelors in the disciplines Power Supply of Enterprises and Industrial Thermal Engineering, and masters in the training discipline Power Supply of Enterprises. Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations.

The Department of HMTPI also conducts research activities in the following main lines:

problem-oriented investigations and development of scientific-technical solutions aimed at elaborating energy saving and environmentally friendly thermochemical technologies for recovering the heat of natural gas combustion products;

elaboration and improvement of prospective process arrangements for recovering the low-grade heat of wet flue gases from process installations;

studying of the heat-and-mass transfer processes in the elements of two-phase pulsation heat pumps aimed at improving their energy efficiency in heat and cold supply systems;

numerical simulation of unsteady fluid dynamics and heat transfer processes during turbulent flow of incompressible and compressible fluids in channels; and

elaboration of methods for enhancing heat transfer in various types of heat exchangers.

Кафедра тепломассообменных процессов и установок была создана в 1956 г. в результате разделения кафедры промышленной теплоэнергетики на две: сушильных и теплообменных установок (СТУ) и теплоэнергоснабжения промышленных предприятий (ТЭПП). В 1971 г. кафедра СТУ была переименована в кафедру теплообменных процессов и систем кондиционирования (ТПСК), а в 1979 г. – в кафедру тепломассообменных процессов и установок (ТМПУ).

Кафедру СТУ в 1956 году возглавил Пантелеймон Дмитриевич Лебедев, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор. П.Д. Лебедев и руководил кафедрой до 1971 г.

П.Д. Лебедев (1906 — 1975) крупный специалист в области промышленной теплоэнергетики, организатор и первый заведующий кафедрой сушильных и теплообменных устройств, первый декан первого в СССР факультета промышленной теплоэнергетики. Им разработана научно-практическая методология современной промышленной теплотехники, создана методическая база подготовки инженерных кадров. Большую роль в подготовке специалистов инженеров-теплоэнергетиков, как в МЭИ так и в других вузах страны и за рубежом, сыграли основополагающие для промышленной теплоэнергетики учебники и учебные пособия, написанные П.Д. Лебедевым, которые принесли ему заслуженную известность как у нас в стране, так и за рубежом. Это — «Теплообменные, сушильные и холодильные установки», «Расчет и проектирование сушильных установок», «Сушка инфракрасными лучами». За рубежом были изданы учебник «Промышленная теплотехника» (совместно с А.А. Щукиным) и

учебное пособие «Сушильные установки» (совместно с Г.К. Филоненко).

П.Д. Лебедев — основоположник научно-педагогической школы Московского энергетического института по сушильной технике. Впервые в отечественной науке осуществил практическую реализацию сушки влажных материалов инфракрасными лучами. Впервые в СССР им был предложен и внедрен на кафедре метод программированного контроля знаний студентов, нашедший признание в других вузах страны.

Работы П.Д. Лебедева в области сушки продолжил Б.И. Леончик, возглавлявший это направление на кафедре с 1963 по 1972 гг. Его докторская диссертация была посвящена исследованию процессов в распылительных сушильных установках и совершенствованию их конструкций. Под его руководством защитили кандидатские диссертации многие известные специалисты в области сушки, в числе которых профессор О.Л. Данилов (сушка перегретым паром), который возглавил это научное направление в 1993 г. С этого момента им и его учениками получены существенные научные результаты по сушке тканей в переменных режимах (В.В. Смагин); сушке высоковлажным сушильным агентом (С.А. Власенко); сушке в жидких металлах (Л.Н. Говорухин). Особое место в этих исследованиях занимают работы по устранению неравномерности процесса сушки, путем управления полями скоростей и температур в сушильном агенте и сушильном материале (диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, выполненная В.И. Коновальцевым под руководством О.Л. Данилова). Всего под руководством О.Л. Данилова было защищено 26 кандидатских

и три докторских диссертации. Результаты исследований и рекомендации по интенсификации процесса сушки натуральных и искусственных волокон, распылительной сушки моющих средств и минеральных удобрений внедрены на многих предприятиях страны.

В настоящее время работы в области сушки на кафедре продолжают. Экспериментально исследуется процесс сублимационной сушки при атмосферном давлении, который является менее энергоемким, чем процесс вакуумной сублимационной сушки. Руководит этим направлением к.т.н., доцент Г.П. Власенко.

В связи с развитием авиационной и ракетно-космической отрасли по инициативе П.Д. Лебедева на кафедре в рамках специальности «Промышленная теплоэнергетика» открыта специализация «Машины и аппараты по кондиционированию воздуха» и начата подготовка инженеров-теплотехников для авиационной промышленности. В 1968 г. эта специализация стала специальностью, которая в 1988 г. была преобразована в специальность «Авиационная и ракетно-космическая теплотехника».

Со времени основания объектами исследования и совершенствования на кафедре стали сушильные, выпарные, ректификационные установки, аппараты погружного горения, теплообменные аппараты различных типов. С развитием авиационной и ракетно-космической техники объектами изучения стали системы жизнеобеспечения и системы стабилизации теплового режима на самолетах и космических аппаратах. Кафедра активно сотрудничала с агрегатным заводом «Наука», КБ им. А.Н. Туполева и КБ Сухого.

Большой вклад в становление кафедры и специальности «Промышленная теплоэнергетика» внес д.т.н., профессор Арсений Михайлович Бакластов (1918—1985). Преподавательскую деятельность

А.М. Бакластов начал на кафедре Промышленной теплоэнергетики теплоэнергетического факультета (ТЭФ), а с 1953 г. Промтеплоэнергетического факультета (ПТЭФ). С 1956 г. — доцент и с 1970 г. — профессор кафедры Сушильных и теплообменных установок. А.М. Бакластов автор и редактор учебника для вузов «Промышленные теплообменные процессы и установки» (Энергоатомиздат, 1986), учебных пособий «Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок» (Энергия, 1970) и «Проектирование, монтаж и эксплуатация теплообменных установок» (Энергоиздат, 1981), не утративших свое значение и в настоящее время.

Под руководством А.М. Бакластова выполнены исследования по теплообмену при конденсации пара из парогазовых смесей в условиях переменной гравитации, по теплообмену и гидродинамике в каналах аппаратов сложной геометрии, по обезвреживанию промышленных стоков, использованию вторичных энергоресурсов и др. Результаты использованы при создании систем жизнеобеспечения и термостабилизации летательных аппаратов, новых типов теплообменников. Большинство его учеников стали известными специалистами. В последние годы научную группу по этому направлению группу возглавлял профессор А.Л. Ефимов (1940—2016). Выполненные им исследования по теплообмену и гидродинамике в каналах сложной геометрии позволили разработать и внедрить в производство перспективные конструкции автомобильных радиаторов и теплообменников для утилизации теплоты вентиляционных выбросов. Он же предложил модель турбулентного течения с прерывистым ламинарным подслоем, которая позволила объяснить механизм интенсификации теплообмена и (в дальнейшем) эффект его опережающего роста по сравнению с



Рис. 1. Коллектив кафедры СТУ в 1970 г. В первом ряду (слева направо): доценты Б.И. Леончик, М.И. Верба, профессора И.Я. Конфедератов, П.Д. Лебедев, зав. лабораторией Р.М. Темкин, профессор А.М. Бакластов, ст. преподаватель В.С. Исаев, учебный мастер В.С. Федорцов

трением. В настоящее время научную группу возглавляет к.т.н., доцент М.Ю. Юркина, которая продолжает исследования в этом направлении.

С начала 60-х годов под руководством профессора В.А. Григорьева проводились обширные экспериментальные и теоретические исследования процессов тепло- и массообмена при кипении криогенных жидкостей. Им были обнаружены качественно новые, имеющие большое прикладное значение, закономерности процесса кипения в большом объеме (существенное влияние на теплоотдачу теплофизических свойств материала греющей стенки, ее толщины и др.). Другим важным направлением его исследований было изучение кипения криогенных и обычных жидкостей при вынужденном течении в щелевых и капиллярных каналах – процесса, отличающегося высокой интенсивностью. Полученные результаты послужили основой докторской диссертации, которую В.А. Григорьев защитил в 1971 г.

Исследования д.т.н., чл.-корр. АН СССР, профессора В.А. Григорьева имеют большое прикладное значение, используются при проектировании и создании образцов новой техники. Им создана научно-педагогическая школа по изучению процессов тепломассообмена при кипении, которая получила в дальнейшем развитие на вновь созданной им в 1976 г. кафедре Криогенной техники. Среди известных учеников и последователей В.А. Григорьева в прошлом аспиранты и преподаватели кафедры чл.-корр. АН России Е.В. Амелистов, А.В. Клименко, В.В. Клименко, д.т.н., профессор Павлов Ю.М., к.т.н., доценты Крохин Ю.И., Городов А.К., Илларионов А.Г, Антипов В.И. и др.



Рис. 2. В.А. Григорьев и А.Г. Илларионов в лаборатории кафедры (середина 60-х годов)

Дальнейшее развитие созданное В.А. Григорьевым научное направление получило в трудах д.т.н., профессора Ю.М. Павлова и руководимой им научной группы, в состав которой в различное время входили к.т.н., профессор И.В. Яковлев, к.т.н., доцент С.В. Захаров, к.т.н., доцент В.А. Шугаев, кандидаты технических наук С.А. Потехин С.А., В.И. Бабич, В.В. Чурбанов, В.А. Леонов, А.И. Муравых.

В 1971 — 1973 гг. заведующим кафедрой ТМПУ был доктор технических наук, профессор Валерий Ви-

талевич Галактионов. В 1973—1976 гг. кафедрой теплообменных процессов и систем кондиционирования (ТПСК) заведовал доктор технических наук, профессор Дмитрий Александрович Лабунцов (1928 — 1992), выдающийся ученый в области теплообмена при фазовых превращениях.

Недолгая работа Д.А. Лабунцова на кафедре оставила о нем воспоминания как о плодотворном ученом и человеке. Глубокие знания изучаемых процессов, широкая эрудиция и прекрасная научная интуиция сочетались у него с несомненным педагогическим даром. Его отличало умение понятно объяснить сложные явления рассматриваемых процессов. Лекции Д.А. Лабунцова по тепломассообмену пользовались успехом как среди студентов, так и среди аспирантов, сотрудников и преподавателей кафедры. Он привлекал внимание ясным пониманием физической сути явлений и умением доходчиво объяснить его слушателям. Классическим можно считать курс «Механика двухфазных потоков», читаемый на кафедре ТПСК, а затем на кафедре криогенной техники в течение многих лет. К этому следует добавить высокие человеческие качества Д.А. Лабунцова – его демократизм, уважительное отношение, как к коллегам, так к студентам.

Д.А. Лабунцов — основатель научно-педагогической школы комплексного исследования механизмов процесса теплообмена при кипении, методов его интенсификации и кризисов теплообмена. Работы Д.А. Лабунцова положили начало принципиально новому направлению в теплофизике, связанному с исследованием неравновесных эффектов на границе раздела при фазовых превращениях. Среди учеников и последователей научного учения Д.А. Лабунцова следует упомянуть д.т.н., профессоров В.В. Ягова, А.П. Крюкова, А.Т. Комова, к.т.н. А.П. Касаткина, О.Н. Кабанькова и многих других бывших сотрудников кафедры ТПСК и Криогенной техники.



Рис. 3. Д.А. Лабунцов (в центре) с учениками и последователями (слева направо): А.К. Городов, В.В. Ягов, Ю.И. Крохин, Ю.М. Павлов.

В 1976 г. к работе в МЭИ в должности заведующего кафедрой ТМПУ приступил доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, крупный ученый в области турбулентного конвективного теплообмена Владислав Павлович Мотулевич, руководивший кафедрой до 1988 г.

С приходом В.П. Мотулевича на кафедре получило дальнейшее развитие направление по экспериментальному исследованию процессов конвективного турбулентного теплообмена в каналах теплотехнических и теплоэнергетических установок. На кафедре была создана уникальная по тем временам экспериментальная аэродинамическая установка для исследования осредненных и пульсационных характеристик турбулентных течений с применением лазерного и термоанемометрического оборудования лидеров в подобных исследованиях зарубежных фирм DISA (Дания) и TSI (США). В создании и совершенствовании установки участвовали аспиранты из разных стран, которые (в дальнейшем) успешно защитили кандидатские диссертации.

Был выполнен комплекс исследований структуры турбулентного пограничного слоя при вдуве газа в пограничный слой и натекании струи на препятствие. Результаты этих исследований были воплощены в ряде теплообменных аппаратов с интенсифицированной теплообменной поверхностью. Работы по исследованию турбулентного пограничного слоя осуществлялись в составе группы из д.т.н., профессора Э.Д. Сергиевского, О.В. Доброчеева, Н.В. Шитова, С.В. Жубрина, А.Б. Горяева и др. Э.Д. Сергиевский внес заметный вклад не только в развитие теории турбулентности. Под его руководством аспиранты О.В. Доброчеев, С.В. Жубрин и А.Б. Горяев разработали методы расчета химически неравновесных течений с учетом объемных источников и течений при взаимодействии струй с преградами.

Активная деятельность к.т.н. С.В. Жубрина способствовала внедрению программы PHOENICS для численного моделирования процессов газо- и гидродинамики и теплообмена, разработанной в Великобритании профессором Д.Б. Сполдингом и его учениками, в учебный процесс на кафедре ТМПУ. Это позволило аспирантам Э.Д. Сергиевского провести математическое моделирование, сопоставить его результаты с экспериментальными данными и определить факторы, повышающие энергетическую эффективность теплообменных аппаратов посредством поверхностных интенсификаторов.

В дальнейшем это направление развивалось под руководством профессора Э.Д. Сергиевского, давшего в жизнь путевку многим кандидатам наук. Тематика исследований была посвящена интенсификации теплообмена с применением технологических методов интенсификации теплообменных поверхностей. Под руководством Э.Д. Сергиевского по данной тематике защищены кандидатские диссертации А.Ю. Маскинской, Е.В. Криницким, Е.В. Овчинниковым, А.В. Медведевым и другими сотрудниками и аспирантами, которые в дальнейшем работали или продолжают работать преподавателями кафедры. В настоящее время данное направление по-прежнему развивается благодаря ра-

ботам А.А. Арбатского, кандидатов технических наук Н.В. Хомченко, А.Ю. Маскинской, а также студентов и аспирантов.

Дальнейшее развитие работы по теплообмену и гидродинамике турбулентных течений получили под руководством профессоров Владлена Николаевича Попова и Елены Петровны Валуевой с сотрудниками. Ими были заложены основы исследований пульсирующих турбулентных течений в каналах. Результаты работ были опубликованы в ряде престижных отечественных научных изданий. С их деятельностью связано появление на кафедре новых учебных курсов по численному моделированию процессов гидродинамики и теплообмена, преподавание которых позволило повысить уровень теоретической подготовки выпускников. Продолжение этих исследований имеет место в настоящее время. Новым объектом исследований на кафедре ТМПУ стали микроканальные теплообменники, микроканальные химические реакторы и микроканальные устройства для отвода и подвода теплоты. Данные устройства, имеющие поперечные размеры в сотни или десятки микрон, обладают целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными теплообменными аппаратами. Высокая компактность при очень больших коэффициентах теплоотдачи обусловила широкое применение микроканальных теплообменников в технике и в промышленности, как в традиционных технических приложениях, так и в инновационных отраслях. Эти устройства имеют ряд особенностей. К ним можно отнести, например, существенный перенос теплоты теплопроводностью в продольном направлении по стенкам каналов и по теплоносителю. Ясно, что при расчете и проектировании подобных устройств необходимо знать особенности протекающих в них процессов. Изучение особенностей и механизмов переноса теплоты в микроканальных структурах осуществляется научной группой под руководством профессора Е.П. Валуевой.

Традиционно развиваются методы численного моделирования, которые внедряются в учебный процесс и используются в научных исследованиях в виде программ, разработанных сотрудниками кафедры.

При выполнении хозяйственных работ и работ, связанных с Федеральными целевыми программами, сотрудники кафедры применяют как собственные программные продукты, так и такие современные программные комплексы, как Ansys Fluent, PHOENICS, Maple, Wolfram Mathematica, Mathcad и др. Указанные программы позволяют осуществлять численное моделирование гидродинамических процессов, тепло- и массообмена в технологическом оборудовании, в теплообменных аппаратах, элементах систем кондиционирования.

В последние годы одним из направлений исследования научной группы Э.Д. Сергиевского стала термохимическая регенерация теплоты высокотемпературных газов. Ее сущность заключается в том, что теплота вы-

сокотемпературных газов направляется на проведение эндотермических химических реакций, в результате которых образуется новое топливо. Суммарная теплота сгорания нового топлива при этом выше, чем у исходного. Данный процесс рассматривается как важный способ экономии топлива при производстве стали, стекла, керамики. Наиболее известным примером таких реакций является паровая конверсия метана.

Сотрудниками кафедры создан программный комплекс (основной исполнитель работ к.т.н, доцент Глазов В.С.), позволяющий рассчитывать процесс термохимической регенерации, включающий расчет свойств реагирующей газовой смеси, моделирование химических реакций, подробный расчет реактора паровой конверсии метана. Проведены исследования влияния различных факторов, таких как состав исходной смеси, длина реакционного элемента, температура протекания процесса на степень завершенности реакции и экономию топлива. Данные работы проводились совместно с учеными кафедры энергетики высокотемпературных технологий НИУ «МЭИ». Результаты этой работы легли в основу кандидатских диссертаций А.Н. Крылова (руководитель проф. Э.Д. Сергиевский) и Густаво Растрепо Менги (руководитель доцент В.С. Глазов), аспиранта из Республики Колумбия, проходившего обучение в НИУ «МЭИ». В настоящее время исследования продолжаются. Разрабатывается методика, по которой предприятия, имеющие высокотемпературные газы с различной температурой и расходом смогут оценить возможный эффект от внедрения установок термохимической регенерации теплоты.

В результате многолетних научных исследований коллектива под руководством Ю.М. Павлова, заведующего кафедрой ТМПУ в 1988—2004 гг., получен уникальный экспериментальный и теоретический материал

по физике кипения жидкостей, в том числе и криогенных. Разработаны теории перехода от естественной и вынужденной конвекции к пузырьковому кипению. Получены расчетные соотношения для расчета теплоотдачи при пузырьковом кипении в свободном объеме и предкризисных режимах при вынужденном движении в каналах. Результаты этих работ, полученных под руководством Ю.М. Павлова, были признаны научной общественностью, несмотря на то, что существовала конкуренция научных школ в этом направлении среди ведущих научных центров, занимающихся решением подобной задачи. Среди них следует выделить Институт высоких температур АН СССР, Институт теплофизики Сибирского отделения АН СССР, Институт низких температур АН УССР. Результаты исследований были защищены в ряде кандидатских диссертаций С.А. Потехина, А.И Муравых, В.А. Леонова и др.

Особое внимание было уделено экспериментальному и численному, на основе физического и математического моделирования, исследованиям теплогидравлических процессов в каналах охлаждения сверхпроводящих магнитных систем. Разработанные модели нестационарных теплогидравлических процессов в элементах низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводящих систем в условиях нестационарных тепловых нагрузок позволяют предсказывать распространение различных режимов двухфазного теплообмена во времени и пространстве и проводить расчеты параметров нестационарного кризиса теплоотдачи. Полученные результаты имели практическое значение, поскольку в то время в стране и в мире большие надежды возлагались на применение эффекта сверхпроводимости в энергетике. По результатам этих исследований были защищены диссертации сотрудниками кафедры И.В. Яковлевым, В.И. Бабичем, В.В. Чурбановым.



Рис. 4. Коллектив кафедры ТМПУ во главе с В.П. Мотулевичем (в центре) в 80-е годы

Также развиваются традиционные научные направления, такие как использование теплопередающих устройств на основе тепловых труб и термосифонов. Ранее научная группа, руководимая профессором В.Я. Сасиным и доцентом В.Д. Портновым, занималась исследованием бортовой авиационной и космической аппаратуры, участвовала в разработке энергетической ядерной космической установки для перспективных энерговооруженных космических аппаратов. Под руководством к.т.н., доцента М.И. Вербы был проведен комплекс исследований процессов в каталитических и сорбционных элементах систем регенерации продуктов жизнедеятельности экипажей космических аппаратов, систем термостабилизации и терморегулирования элементов космических аппаратов. Отдельным направлением исследований стало исследование автономных двухфазных теплопередающих систем (тепловых труб). Это направление исследований достойно представляли д.т.н., профессор А.Я. Шелгинский, кандидаты технических наук доценты В. Н. Федоров и А.А. Бородин.

Сотрудниками кафедры под руководством профессора В.Я. Сасина разработан, экспериментально и численно исследован и запатентован насос теплового действия – автоколебательная система, позволяющая нагревать и перекачивать теплоноситель без использования электрической энергии. Обоснована его применимость в качестве резервного источника энергии для адсорбционных холодильных установок, использующих теплоту для выработки холода. По этой тематике были защищены кандидатские диссертации доцента Н.М. Савченковой и аспиранта из Вьетнама Буй Ман Ту, выполненные под руководством профессора В.Я. Сасина. В настоящее время под руководством к.т.н., доцента Н.М. Савченковой идут работы по усовершенствованию конструкции насоса теплового действия с целью повышения создаваемого напора и производительности.

В последние годы одним из основных направлений деятельности кафедры является повышение энергетической эффективности. Начиная с 90-х годов, сотрудниками кафедры (А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев, И.А. Антышев, М.В. Горелов) под руководством профессоров О.Л. Данилова и А.Л. Ефимова выполнен ряд работ по энергоаудиту и энергосбережению на объектах промышленности и транспорта. В их числе Московский вагоноремонтный завод им. Войтовича, завод «Кристалл», Кусковский химзавод, мебельный комбинат «Шатура», тепловое хозяйство Санкт-Петербургского метрополитена и др.

Одновременно развивалась и методическая база энергетических обследований и энергосбережения. В частности в 2011 г. М.В. Гореловым (в настоящее время к.т.н., доцентом) была защищена кандидатская диссертация на тему «Разработка расчетно-экспериментального метода определения тепловых потерь через светопрозрачные ограждающие конструк-

ций промышленных зданий с применением тепловизионного метода», выполненная под руководством профессора И.В. Яковлева.

Сотрудниками кафедры был разработан учебно-методический комплекс «Энергосбережение в энергетике и технологиях», защищенный свидетельством об официальной регистрации базы данных. Преподавателями кафедры подготовлен ряд учебных пособий, которые послужили основой учебника для вузов по курсу «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях» (авторы О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев, А.В. Клименко, А.Г. Вакулко), выпущенного в 2010 г. Этот учебник стал первым учебником по энергосбережению для студентов энергетических вузов, выпущенным в России. На настоящий момент вышло два его издания.

Одним из способов повышения эффективности использования энергии является утилизация теплоты влажных газов. Глубокое охлаждение влажных газов в конденсационных теплоутилизаторах (КТУ), которое сопровождается конденсацией водяных паров, позволяет существенно повысить эффективность теплотехнических установок и получить ряд преимуществ при их эксплуатации. Так, утилизация теплоты конденсации паров, содержащихся в продуктах сгорания природного газа, может на 7 — 8% повысить коэффициент полезного действия котельной установки. Глубокая утилизация теплоты отходящих газов после печей обжига цемента может полностью покрыть затраты предприятий цементной промышленности в теплоте на собственные нужды. В сушильных установках и в системах кондиционирования воздуха охлаждение отходящих газов ниже точки росы, сопровождается их осушкой и дает возможность использовать их теплоту не только за счет установки КТУ, но и путем рециркуляции сушильного агента или вытяжного воздуха. Потенциал энергосбережения за счет утилизации явной и скрытой теплоты влажных газов в России достигает 10 млн т у. т. в год и в настоящее время используется недостаточно.

На кафедре предложены математические модели процессов в КТУ различных конструкций (трубчатые оребренные, кожухотрубные, пластинчатые), применимые в широком диапазоне влагосодержаний парогазовых смесей (кандидатские диссертации Е.В. Цепляевой, Н.И. Нефедовой, Н.М. Дудник, руководителем которых является проф. А.Б. Гаряев, и докторская диссертация А.Б. Гаряева). Разработаны новые методы расчета теплообменных аппаратов, позволяющие во многих случаях увеличить точность получаемых результатов, определить режимы работы, при которых на поверхности возникают т.н. «сухие зоны», зоны с обмерзанием поверхности, найти границы возникновения таких зон. В числе влажных результатов – новые данные по исследованию конденсации водяных паров в присутствии не только воздуха, но и других некон-

денсифицирующихся газов, таких как диоксид углерода и метан.

Разработан ряд рекомендаций по организации процессов теплообмена в поверхностных КТУ, в том числе по организации подачи теплоносителя в трубное пространство, по применению оребрения в таких теплообменниках, использованию теплообменников из полимерных материалов и др.

Кафедра не могла не уделить внимания такому важному (хотя и не всегда однозначно оправданному) методу энергосбережения, как применение тепловых насосов. Для сушильных установок и для помещений с повышенной влажностью разработаны и сопоставлены схемы утилизации теплоты с тепловыми насосами, конденсационными теплоутилизаторами и рециркуляцией в различных комбинациях данных энергосберегающих мероприятий. Проведена их структурная и параметрическая оптимизация. На основании полученных результатов получены данные, позволяющие сопоставить энергетический и экономический эффект от применения этих схем при различных условиях для различных климатических зон (кандидатские диссертации А.А. Горяева и В.Ю. Самойленко, выполненные под руководством профессора И.В. Яковлева).

Разработаны методы расчета циклов теплонасосных установок, которые позволяют производить расчеты на основании полиномиальных аппроксимаций теплофизических свойств и термодинамических параметров наиболее распространенных рабочих тел, что позволяет отказаться от использования диаграмм «Температура–энтропия» и автоматизировать расчеты. В настоящее время разработаны модели применения тепловых насосов, использующих теплоту грунта, с коаксиальным теплообменником, расчеты по которым показывают проблематичность использования таких установок в средней полосе России.

Наиболее значимыми для науки и практики являются работы, выполненные за последнее десятилетие в рамках Федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 гг.» и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 гг.» под руководством профессоров А.Б. Горяева и С.В. Жубрина:

- теплообменники нового поколения;
- математическое моделирование процессов тепло- и массообмена в энергосберегающих технологических аппаратах термохимической переработки газового топлива;
- проведение проблемно-ориентированных исследований и разработка научно-технических решений создания энергосберегающих экологически чистых технологий термохимической регенерации теплоты продуктов сгорания природного газа;
- разработка и совершенствование перспективных систем утилизации низкопотенциальной теплоты отходящих влажных газов технологических установок.

Научно-исследовательская работа, выполняемая в рамках проектной части Государственного задания в сфере научной деятельности «Разработка и экспериментальное обоснование методов и методологии определения гидродинамических параметров пульсирующих течений жидкости в сложных микроканальных структурах» (руководитель — Е.П. Валуева).

Среди традиционных хозяйственных работ особое место занимают работы с необычными для кафедры темами: «Прямоточный анаэробный ферментер для птичьего помета», «Термостабилизация зеркальной системы диаметром 32 метра», «Исследование теплоотдачи и разработка рекомендаций по совершенствованию и оптимизации конструкции беструбных конвекторов» и др.



Рис. 5. Коллектив преподавателей кафедры ТМПУ в 2012 г.

Участие в программе Национального исследовательского университета позволило получить новое оборудование, в числе которого атмосферная сублимационная сушилка, теплонасосная установка, дифференциальный сканирующий калориметр.

Кафедра развивает связи с университетами зарубежных стран. Несколько лет работает программа двух дипломов с Бранденбургским техническим университетом (Германия). За это время семь студентов из Германии прошли обучение в МЭИ. Кроме того, в числе партнеров и высшая школа г. Эрфурта (Германия), Институт технологий г. Санто-Доминго (Республика Доминикана), Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Казахстан).

Следует отметить, что в данной статье указаны далеко не все достижения кафедры в научной и учебной работе, и упомянуты не все преподаватели и сотрудники, которые внесли в них свой вклад. Общее количество преподавателей и сотрудников, работавших и работающих на кафедре в настоящее время, превысило 150 человек, а количество аспирантов, прошедших обучение на кафедре превышает 200 человек.

В настоящее время на кафедре проходят обучение две учебных группы бакалавров по направлению теплоэнергетика и теплотехника (профили «Промыш-

ленная теплоэнергетика» и «Энергообеспечение предприятий») и одна группа магистров (магистерская программа «Энергообеспечение предприятий. Тепло-массообменные процессы и установки»). Особенностью подготовки по профилю «Энергообеспечение предприятий» является наличие в программе подготовки учебных курсов, относящихся к теплоэнергетике и курсов, связанных с электроснабжением промышленных предприятий. Общий выпуск студентов, подготовленных кафедрой, в 2016 г. составил 80 человек.

Сейчас кафедра переживает обновление кадрового состава. На смену известным ученым, обладавшим большим опытом и ушедшим в последнее десятилетие, таким как профессора О.Л. Данилов, Э.Д. Сергиевский, А.Л. Ефимов, приходит молодежь (кандидаты технических наук, доценты М.В. Горелов, М.Ю. Юркина, ст. преподаватели А.М. Телевный, А.Ю. Маскинская, Е.М. Горячева). Средний возраст преподавателей кафедры на сегодняшний день составляет 48 лет. Надеемся, что молодые преподаватели смогут продолжить высокий уровень подготовки специалистов и научных исследований и поддержать традиции, которые сохранялись на кафедре в течение всего времени ее существования.

Статья поступила в редакцию 15.07.2016