

УДК 37.01:621.446:378.662(477-25)

Научная школа НТУУ «КПИ» по проблемам рационального и экологически безопасного сжигания топлив

NTUU «KPI» scientific school of efficient and ecologically-safe fuel combustion problems

Алла Христич¹, Виталий Татарчук²

Alla Khristich, Vitalii Tatarcuk

¹ Державний політехнічний музей при НТУУ "КПІ", Київ, Україна, museum@kpi.ua

² Державний політехнічний музей при НТУУ "КПІ", Київ, Україна, batab@ukr.net

Ключові слова:

Київський політехнічний інститут, спалювання палив, екологія, газотурбінні установки (ГТУ), парогазові установки (ПГУ), газотурбінні двигуни (ГТД), камера згоряння, енергозбереження, струминні стабілізаторні пальники, альтернативні палива.

Key words:

Kyiv Polytechnic Institute, incineration of fuels, ecology, gas-turbine plants, steam-gas plants, gas-turbine engines, combustion chamber, conversion of energy, jet stabilizing burners, alternative fuels

Анотація: В статті показані результати робіт наукової школи Київського політехнічного інституту з проблем раціональної організації спалювання палив і зменшення забруднення оточуючого середовища токсичними продуктами згоряння. Результатом робіт в області теорії згоряння стало створення принципово нового струйно-стабілізаторного ефективного способу спалювання палив, створення саморегулюючих камер згоряння і топочного обладнання з високими енергетичними показниками і низькою токсичністю продуктів згоряння, мало-токсичного горіння альтернативних палив. Сукупність розроблених методів спалювання палив складає універсальну базу технологічних рішень, що забезпечують ефективне спалювання палив в установках різного енергетичного і промислового призначення.

Abstract— In this article the results of works of scientific school of the Kyiv Polytechnic Institute on the problems of rational organization of incineration of fuels and diminishing of contamination of environment by toxic products of combustion are described. The result of works in the field of the theory of burning was creation of fundamentally new effective method of jet stabilizing incineration of fuels. Also this research resulted in creation of self-regulating combustion and fire-box equipment chambers with high power indexes, hypotoxicity of products of burning and low-toxic burning of alternative fuels. The aggregate of the developed methods of incineration of fuels presents the universal base of technological decisions providing effective incineration of fuels in different power and industrial plants.

Вопросам экономии топлива при производстве тепловой и электрической энергии всегда уделяют большое внимание. Одновременно принимают законы и указы по защите окружающей среды, основными загрязнителями которой при сжигании газовых топлив являются оксиды азота (NOx).

В большой степени решение обеих этих задач связано с усовершенствованием применяемых в энергетике и промышленности газогорелочных устройств, которые своими свойствами в большой мере определяют экономичность, надежность и экологические характеристики энерготехнологических процессов.

Энергетика является отраслью, оказывающей существенное техногенное воздействие на состояние окружающей среды. Газовые загрязнения распространяются, не признавая никаких границ и охватывают все большее пространство атмосферы.

Под загрязнением атмосферы следует понимать изменение свойств и ухудшение функций среды в результате выбросов загрязняющих веществ (твердых, жидких и газообразных), а также тепла, радиоактивных и электромагнитных излучений, шума, вибраций и т.д.

Экология связана с хозяйственной деятельностью человека, особенно с такими масштабными производствами как энергетика, топливо- и ресурсодобывающие комплексы, транспорт, сельское хозяйство и др. Невозможно вести хозяйственную деятельность человека на Земле без экологической регламентации производств и проведения решительных мер по пресечению выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Теплоэнергетические установки, в которых тепло генерируется процессом сжигания топлива, в большой мере загрязняют окружающую среду теми или иными токсичными компонентами продуктов его сгорания.

К активно развивающимся и наиболее широко используемым установкам для решения различных задач относятся газовые турбины, путь развития которых многогранен и взаимосвязан с другими отраслями промышленности – машиностроением, металлургией и др.

В газотурбинных (ГТУ) и парогазовых (ПГУ) установках, внедрение которых стало наиболее перспективным направлением дальнейшего развития мировой энергетики, главными полюантами продуктов сгорания

являются оксиды азота (NOx), имеющие наибольшую токсичность [1; 2; 3].

В настоящее время большую актуальность приобрела задача рационального использования природных ресурсов, особенно энергетических. Эта задача является частью глобальных проблем рационального природопользования и охраны окружающей среды, что вызвало в мире необходимость подписания в 1988 году Международной конвенции о сокращении выбросов в атмосферу оксидов азота, к которой в 1992 году присоединилась и Украина.

Газотурбинные двигатели (ГТД) и газотурбинные установки (ГТУ) своеобразны во многих отношениях: они являются наиболее древними по своей идее (примерно XV век) и, вместе с тем, молодыми в практической реализации (рубеж XIX – XX веков) тепловыми двигателями.

Объективная необходимость переоснащения советской авиации в годы Второй мировой войны двигателями нового поколения выступила катализатором разработок принципиально новых ГТД, с незначительным удельным весом на единицу мощности. Это послужило толчком в развитии авиадвигательной промышленности и связанных с нею других отраслей.

В послевоенное время авиадвигателестроение продолжало стремительно развиваться, а отработавший свой лётный ресурс ГТД предложено использовать в наземных целях – в энергетике, на транспорте, в качестве приводных двигателей газоперекачивающих агрегатов. Являясь уникальной и высокотехнологичной составляющей двигателестроительной отрасли, газотурбостроение привлекло внимание ученых и специалистов, которые занимались вопросами теоретического и промышленного развития газотурбинной техники. Спектр практического использования ГТУ значительно расширился и требовал соответствующей инфраструктуры, заводов, обслуживающих предприятий, высококлассных специалистов.



Кафедра паровых и газовых турбин. 1949 г.

ГТУ внедрились во все сферы жизнедеятельности человека.

Благодаря высокой эффективности, а также прищущим им простоте конструкции, компактности, маневренности они нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и занимают одно из главных мест в направлении развития мировой энергетики. Осо-

бенно эффективным является их использование в комбинированных парогазовых энергетических установках.

Применение ГТУ в качестве пиковых, полупиковых, резервных, передвижных, а при определенных условиях – в качестве базовых, является одним из перспективных путей совершенствования энергетических систем, повышения их экономичности и надежности.

ГТУ стали основным элементом привода для газоперекачивающих станций (ГКС) магистральных газопроводов, транспортирующих значительное количество природного газа на большие расстояния.

Поскольку в первые послевоенные годы первоочередная потребность в ГТД возникла в авиации, которая переходила из винтовой тяги на реактивную, на кафедре паровых и газовых турбин Киевского политехнического института (КПИ) по инициативе ее заведующего профессора И. Т. Швеца была открыта специализация «Реактивные двигатели». Началась подготовка специалистов-двигателестроителей для Министерства авиационной промышленности СССР. Сотрудники кафедры проводили научно-исследовательские работы в области реактивной техники. Профессор И. Т. Швец читал курс «Газовые турбины». С этого времени весь коллектив кафедры активно включился в научную работу по актуальным работам в области газовых турбин. Было создано новое научное направление – изучение процессов горения жидких и газообразных топлив и разработка эффективных горелок и высокотемпературных камер сгорания реактивных и газотурбинных двигателей.

Началом участия КПИ в развитии газотурбинных технологий можно считать 1949 год, когда сотрудники механического и теплоэнергетического факультетов КПИ совместно разработали проект автомобильного ГТД с новым термодинамическим циклом (с промежуточной регенерацией тепла), который затем использовался в энергетических ГТУ.

Интересен разработанный профессором М. А. Барановским комбинированный цикл, который впоследствии в научно-технической литературе получил название цикла Барановского-Фильда.

В те годы кафедра тесно сотрудничала с Центральным институтом авиационного моторостроения им. П. И. Баранова (Москва) (ЦИАМ) в области научных исследований и разработки газотурбинных камер сгорания. Впоследствии это сотрудничество переросло в многолетнюю совместную работу с целым рядом двигателестроительных конструкторских бюро СССР.

Сфера научных интересов выпускника аспирантуры 1950-х годов В. А. Христича была связана с разработкой транспортных и энергетических ГТД и охватывала широкий круг проблем. Уже в первом своем законченном исследовании – защищенной в 1954 году кандидатской диссертации – аспирантом В. А. Христичем была решена важная научно-техническая проблема, связанная с созданием камер сгорания испарительного типа. В данной работе в полной мере проявились основные принципы выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых в последующие годы в КПИ, связанных с рациональным методом организации процессов сжигания топлив, созданием высокоэффективных газотурбинных и паротурбинных камер сгорания, повышением надежности работы топливоиспользующего оборудования, энергосбережением, уменьшением эмиссии и выбросов в атмосферу

токсичных продуктов сгорания и др. [4, 5].

Созданная в КПИ научная школа проблем рациональной организации сжигания топлив и уменьшения загрязнения окружающей среды токсичными продуктами сгорания, имея творческий потенциал и материально-техническую базу, была ориентирована на разработку эффективных энерго-экологических технологий сжигания природного газа в установках различного назначения: энергетических, транспортных, приводных. Ни одно значимое достижение в этой области не прошло без участия ученых этой школы. Созданная в КПИ научно-исследовательская база и учебно-научные стенды и сегодня используются для создания уникальных технологий и устройств, способствующих развитию технического прогресса в области топливосжигания.

Теплоэнергетическая направленность выбранной профессором В. А. Христикем сферы научной деятельности была не случайной и объяснялась влиянием двух выдающихся ученых, выпускников КПИ – академика АН СССР А. М. Льюльки – Генерального конструктора КБ «Сатурн» (Москва), создателя серии турбореактивных двигателей для сверхзвуковой авиации, которые в свое время на много лет опередили по своим технико-экономическим показателям аналогичные разработки ведущих зарубежных фирм, и академика АН УССР И. Т. Швеца – одного из создателей теории реактивных двигателей.



Справа налево: организатор кафедры паровых и газовых турбин академик АН Украины И. Т. Швец, руководитель НИО "Проблем горения" д.т.н., проф. В. А. Христик, выпускник кафедры Генеральный конструктор, председатель Комиссии по газовым турбинам АН СССР, академик АН СССР А. М. Льюлька

Традиции коллектива характеризовались адекватным реагированием на потребности энергетики и желанием их решения путем соответствующего планирования учебного процесса и научных исследований. Проводились исследования одного из самых сложных по своему рабочему процессу агрегата ГТУ – камеры сгорания, в которой в атмосфере сжатого воздуха сжигается топливо с образованием продуктов сгорания, расширяющихся в газовой турбине.

Эксплуатационные характеристики камеры сгорания в большой мере зависят от принятых в ней методов смесеобразования и стабилизации процесса горения.

Одной из первых работ в этой области были совместные испытания ленинградского Невского машиностроительного завода и КПИ различных газогорелочных устройств применительно к камерам сгорания газоперекачивающих агрегатов. При переменных, частичных нагрузках ГТУ уменьшается полнота сгорания топлива, что вызывает увеличение токсичных продуктов сгорания.

Непрерывно возрастающие требования по охране окружающей среды стимулировали интерес к вопросам защиты от загрязняющего воздействия ГТД. Для ускорения модернизации и создания нового оборудования на энергетических объектах стремились не только обеспечить более высокую энергетическую эффективность, но и добиться увеличения экологической безопасности их эксплуатации.

Газификация в СССР началась в 50-х годах XX века с Украины, с Дашавского и Шебелинского газовых месторождений. Газотурбинные двигатели в то время работали на керосине и частично на дизельном топливе. Сотрудники кафедры турбин КПИ проявили инициативу в исследованиях по переводу ГТД на природный газ. На ТЭФ КПИ проводились работы по исследованию рабочего процесса камер сгорания, работающих на природном газе. На кафедре паровых и газовых турбин в содружестве с Невским машиностроительным заводом (пионером стационарного газотурбостроения в СССР) были исследованы и экспериментально доведены до необходимой кондиции основные концепции создания высокоэффективных и надежных камер сгорания, работающих на природном газе.

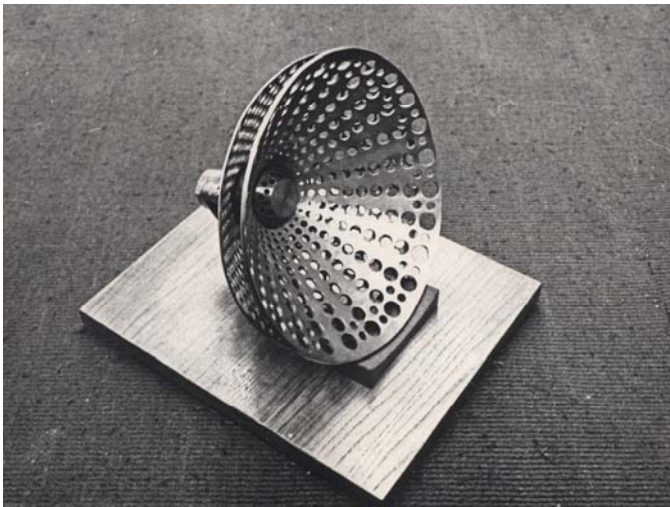
В СССР газоперекачивающие станции с газотурбинным приводом начали эксплуатироваться с 1958 года. Из освоенных к этому времени ГТУ наиболее соответствующей этим целям явилась разработанная Невским заводом в содружестве с учеными КПИ газотурбинная установка ГТ-700-4. Опыт работы газоперекачивающих станций газопровода Ставрополь-Москва подтвердил целесообразность широкого применения ГТУ как наиболее эффективного и надежного приводного двигателя. Уже первые результаты таких исследований обратили на себя внимание специалистов. Поэтому в 1960 году, когда в стране началось развитие отечественных газовых турбин энергетического и промышленного назначения, КПИ в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 15 февраля 1960 года № 198 «О дальнейшем развитии газотурбостроения в СССР» был включен исполнителем в создание головных образцов отечественных ГТУ и ПГУ.

В соответствии с Постановлением на ТЭФ КПИ была создана научно-исследовательская лаборатория газотурбостроения под руководством к.т.н. доцента В. А. Христича (в будущем – д.т.н., профессора, Заслуженного деятеля науки и техники УССР), которая внесла значительный вклад в развитие газотурбинной техники СССР. КПИ был единственным в стране научно-исследовательским центром, который объединял в себе мощные воздухоудные устройства, источники газа необходимых параметров и специалистов в области газотурбостроения. Здесь проводились работы, связанные с исследованием и доводкой газотурбинных камер сгорания для таких заводов как Ленинградский металлический, Харьковский турбинный (ныне «Турбоатом»), Калужский турбинный, Уральский турбомоторный, Ленинградский «Экономайзер»,

Невский машиностроительный и Брненский машиностроительный (Чехословакия). Сразу на нескольких заводах было начато проектирование и изготовление новых типов ГТУ для привода газовых компрессоров (нагнетателей) [6].

В это же время начались исследования и разработки в создании струйных, струйно-стабилизаторных и диффузионно-стабилизаторных технологий сжигания топлив. В процессе этих разработок были созданы новые технологии организации смесеобразования и стабилизации горения, рекомендованные Министерством энергетического и транспортного машиностроения СССР к широкому использованию (нормативный документ РТМ 21.022, 11-74, «Расчет и проектирование камер сгорания для газотурбинных и парогазовых установок»). Результаты исследований и разработок способов подавления вибрационных (пульсационных) режимов горения в газотурбинных камерах сгорания вошли составной частью в выпущенные Центральным котлотурбинным институтом им. И. И. Ползунова (ЦКТИ) (Ленинград) «Рекомендации по расчету и проектированию камер сгорания ГТУ на жидком и газообразном топливах». В 1966 году они были удостоены премии на Всесоюзном конкурсе имени академика Г. М. Кржижановского за лучшую научно-техническую работу [7, 8, 9, 10].

В силу специфических свойств природного газа (метана) все характеристики рабочего процесса камер сгорания энергетических ГТУ существенно зависят от типа применяемого газогорелочного устройства и могут быть в достаточной мере оптимизированы выбором их соответствующей конструкции.



Образец струйной горелки разработки КПИ

Практика породила великое множество типов и конструкций горелочных устройств. Применительно к сжиганию газа при переменных нагрузках одним из наиболее перспективных является разработанная В. А. Христиком газовая горелка с отдельной подачей горючего газа и воздуха [11, 12, 13, 14].

Результатом работ КПИ в области теории горения стало создание принципиально нового струйно-стабилизаторного эффективного способа организации сжигания топлив. На его основе созданы саморегулирующиеся камеры сгорания и топочное оборудование с высокими энергетическими показателями и низкой токсичностью

продуктов горения, малотоксичные камеры сгорания.

Более полная картина влияния типа газогорелочного устройства на характеристики камеры сгорания была получена при обработке камер сгорания газовых турбин ГТ-25-700 и ГТН-9-750 Ленинградского металлического завода. Газовая турбина ГТ-25-700-1 была первцем Отечественного энергетического газотурбостроения с ориентацией на природный газ в качестве топлива. ГТН-9-750 была предназначена в качестве газоперекачивающего агрегата компрессорной станции магистральных газопроводов.

Экспериментальные исследования проводились в режиме непрерывного оперативного сопровождения. Кроме проектных разработок и стендовых испытаний в лаборатории КПИ, проводились доводочные работы основных ГТУ непосредственно в станционных условиях: на Киевской ГРЭС-2, на Харьковской ТЭЦ-3, на Якутской ГРЭС, на ТЭЦ Надворнянского нефтеперерабатывающего завода, на испытательном стенде Калужского турбинного завода, на Краснодарской и Симферопольской ТЭЦ. Благодаря такой организации работ, конструкции всех агрегатов ГТУ, которые исследовались в лаборатории, были значительно усовершенствованы. По предложению КПИ были заменены горелочные устройства принципиально новым типом – 7-модульным фронтальным устройством с саморегулирующимся рабочим процессом. Такое многогорелочное фронтальное устройство в камерах сгорания способствовало гомогенизации смеси, интенсификации горения и сокращения времени пребывания газов в зоне высоких температур, что существенно снизило эмиссию NOx на всех нагрузках ГТУ.

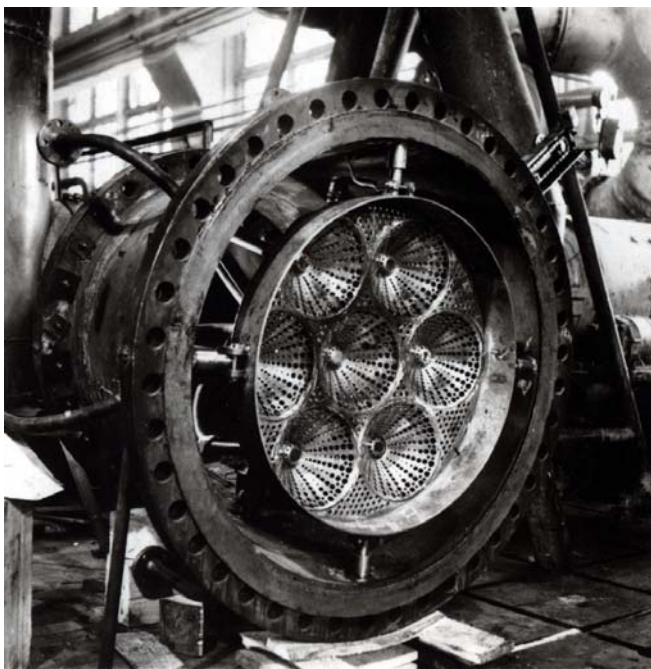
Переход на 7-модульное фронтальное устройство разработки КПИ способствовал стабильности полноты сгорания и, следовательно, малотоксичности камеры сгорания.

Одним из направлений повышения мощности и экономичности ГТУ стало использование вторичного подогрева газов и создание комбинированных парогазовых установок (ПГУ) с утилизацией тепла и повторным дожиганием топлива. Особое место занимает опыт КПИ в использовании передовых технологий сжигания топлив в качестве элементов основных камер сгорания дожигающих устройств на выхлопе ГТУ. В решении таких задач плодотворным оказалось применение разработанных в институте диффузионно-стабилизаторных горелочных устройств.

Для теплофикационных ГТУ были разработаны дожигающие устройства, способствующие повышению их теплопроизводительности и возможности регулирования независимо от электрической нагрузки. Это был первый в мировой практике опыт реализации утилизационно-когенерационных технологий.

В 1970–1971 годах четыре ГТУ-25-700 производства Ленинградского металлического завода были смонтированы на Якутской ГРЭС. В дальнейшем электрическая и тепловая мощность этой станции были увеличены дополнительными четырьмя ГТ-35-700. Все они имели дожигающие устройства разработки КПИ [15, С. 208-210].

В 1969 году между КПИ и кафедрой теплотехнического оборудования машиностроительного факультета Высшего технического училища (ВУТ) города Брно (Чехословакия) был подписан договор о совместных работах по разработке и исследованию рабочего процесса ка-



7-модульное фронтное устройство камеры сгорания энергетической ГТУ с струйными горелочными устройствами разработки КПИ

мер сгорания ГТУ, работающих на жидком и газообразном топливах. В содружестве принимал участие 1-й Брненский машиностроительный завод. Результатом работ стало внедрение струйно-стабилизаторных горелок разработки КПИ в камеру сгорания газовой турбины ST 1,5 Брненского машиностроительного завода, которая использовалась в энерго-технологическом оборудовании по заказу Министерства нефтяной и газовой промышленности СССР для магистральных газопроводов.

Кроме вышеназванных машиностроительных заводов, теплоэнергетический факультет КПИ имел творческие связи со многими научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями, в частности с Центральным котлотурбинным институтом (Ленинград), Центральным институтом авиационного машиностроения (Москва), Всесоюзным теплотехническим институтом (Москва), Институтом электродинамики и Институтом газа АН УССР (Киев), Институтом теоретической и прикладной механики (Новосибирск), Институтом высоких температур (Москва), ВНИИПРОМГАЗ (Москва), УкрНИИгаз (Харьков) и др.

Результаты выполненных лабораторией газотурбиностроения КПИ научно-исследовательских и экспериментально-доводочных работ не только способствовали решению поставленных промышленностью задач, но и обогатили новую отрасль большим объемом новой научной информации, которая стала базой для разработки основ теории рабочего процесса газотурбинных камер сгорания и практических способов усовершенствования их эксплуатационных характеристик.

Разработанные на кафедре газогорелочные технологии оказались привлекательными не только для газотурбинной, но и для многих других отраслей народного хозяйства. Это побудило коллектив значительно расширить границы своей научной деятельности.

В 1978 году кафедра получила название промышленных теплосиловых установок и защиты окружающей среды, а с 1988 года работы проводились в научно-исследовательском отделе (НИО) «Проблем горения и увеличения эффективности использования топлив».

Однако, и в границах этого отдела ГТУ и ПГУ продолжали занимать одно из ведущих мест, относительно них проведен большой объем работ, посвященных разработке и исследованию технологий эффективного, малотоксичного горения альтернативных топлив. В сотрудничестве с академическими, отраслевыми и проектными институтами, энергетическими и промышленными предприятиями были созданы типовые конструкции теплогенераторов широкого промышленного назначения и обеспечено успешное их внедрение в различных отраслях промышленности. Поскольку экономические требования непрерывно ужесточаются, вопрос о необходимости дальнейшего снижения эмиссии NOx в горелках струйно-стабилизаторного типа всегда был актуален.

Из промышленных внедрений, выходящих за границы турбинных технологий, следует выделить разработку широкого ряда универсальных теплогенераторов промышленного, коммунального и сельскохозяйственного назначения.

В результате совместных разработок КПИ и ОАО «Укргазпроект» были успешно реализованы струйные горелки типа СГ для использования в выносных подтопочных устройствах.

Эти горелки хорошо себя зарекомендовали в составе промышленных теплогенераторов и термодокаталитических реакторов, очистки вредных промышленных выбросов. Им свойственна высокая надежность эксплуатации, малая металлоемкость, широкий диапазон устойчивой работы, высокий уровень выгорания топлива, низкий уровень эмиссии оксидов азота и незначительные потери давления по воздушному тракту.

Широкую область применения струйно-стабилизаторных горелок имеют установки термического и термодокаталитического обезвреживания газообразных промышленных выбросов.

В 70-х годах XX века начались творческие связи с кафедрой теплотехники и гидравлики Вроцлавского политехнического института (ВПИ) (Польша). Происходил обмен студентами-практикантами, аспирантами, специалистами для чтения лекций и научных работ. Проводилась разработка научно-методического обеспечения подготовки инженеров-теплоэнергетиков в области исследования процессов горения, термического и термодокаталитического дожигания промышленных отходов с целью охраны окружающей среды. Целый ряд производств нефтехимии, металлургической, целлюлозно-бумажной, лакокрасочной промышленности и многих других имели вредные газообразные выбросы. В отбросном газе находились такие загрязнители, как бензол, толуол, этилбензол, стирол и др.

По программе работ на основании постановления Совета экономической помощи (СЭВ) VI-6 «Разработка и совершенствование методов термического и каталитического дожигания отходных газов», начались совместные исследования КПИ и ВПИ с целью разработки оптимального варианта конструкции горелочных устройств и оптимизации режимов дожигания.

Термический метод обезвреживания промышлен-



Исследования газотурбинных камер сгорания - горячий и шумный эксперимент
(интернациональная бригада исследователей, КПИ - Вроцлавская политехника)

ных выбросов заключается в том, чтобы окислить (разложить) токсические компоненты этих отходов в вещества, безвредные или менее токсичные для окружающей среды. На основе струйно-стабилизаторного метода КПИ были разработаны и изготовлены в ВПИ два варианта экспериментальных газовых горелок. Исследование велись параллельно на стендах КПИ и ВПИ, отличающихся схемами горелок, масштабными факторами, режимными условиями и видом топлива, следовательно, дополняющими друг друга в рамках программы исследований.

Конструкция стенда КПИ, созданного на базе опыта группы научных работников под руководством профессора В. А. Христинича, позволяла варьировать различными режимными факторами. При решении задачи было обращено внимание на интенсификацию массообмена путем установки на пути развития топливной струи ряда поперечных перемычек, закрылков в створе стабилизатора. Результаты показали всережимность, малотоксичность струйно-стабилизаторных горелок КПИ для целей термической нейтрализации (дожигания) вредных промышленных выбросов.

Испытания опытных образцов показали, что эти горелки обеспечивали высокую степень нейтрализации вредных компонентов при температурах более низких, чем применяемые при других типах горелочных устройств, что дало экономию топлива. Кроме того, их применение позволяло уменьшить стоимость термических нейтрализаторов, вследствие значительного упрощения конструкции, вплоть до размещения горелок непо-

средственно в технологических газоходах. Результаты промышленных испытаний показали хорошие эксплуатационные характеристики горелок в широком диапазоне режимов работы.

В результате обработки и обобщения данных, полученных в работе, проведенной параллельно на стендах КПИ и ВПИ по теме межвузовского сотрудничества, создана методика проектирования и расчета систем термодинамической очистки промышленных газовых выбросов [16, 17, 18, 19, 20, 21].

Струйные горелки разработки КПИ нашли большое применение в энергетике и различных отраслях промышленности, накоплен большой опыт по проектированию таких устройств и собран обширный материал по характеристикам их рабочего процесса. Создана программа расчета горелок струйного типа на ЭВМ. Проведенные исследования в области уменьшения эмиссии в атмосферу токсичных продуктов сгорания послужили созданию банка данных энергетических характеристик современных ГТУ и ПГУ и методов их прогнозирования [22].

При тех топливах, на которых работают современные ГТУ и ПГУ – природный газ и нефтяные дистилляты, – для снижения эмиссии оксидов азота наиболее просто и эффективно мог бы быть впрыск воды или водяного пара в камеру сгорания (так называемый «мокрый» способ подавления эмиссии NOx).

Однако, на практике полученные результаты для разных ГТУ количественно не одинаковые. Кроме этого,

вода вместе с подавлением эмиссии NOx негативно влияет на другие характеристики рабочего процесса камеры сгорания.

В НИО «Проблем горения» совместно с НИИ «Апродос» по научно-технической программе «Гранит» были проведены исследования влияния водяного пара на состав и соотношение основных компонентов оксидов азота, образующихся в газотурбинной камере сгорания. Исходя из стремления получить результаты, представляющие непосредственный практический интерес, в качестве объекта экспериментального исследования была принята натурная серийная камера сгорания научно-производственного комплекса газотурбостроения «Заря-Машпроект» (Николаев). Исследования проводились на испытательном стенде НИО «Проблем горения», который позволял воспроизводить любые режимы работы камеры сгорания и измерить все параметры, характеризующие ее рабочий процесс.

Испытания показали, что на всех режимах впрыск воды или пара в зону горения камеры сгорания влияет не только на уменьшение NOx, но и воздействует на кинетику протекающих в ней процессов. Полученные результаты дали основание для пересмотра роли пара в технологиях «мокрого» подавления эмиссии оксидов азота в камерах сгорания ГТУ, а также внесение определенных коррективов в разработку подобных систем [23, 24, 25].

Работы по энергоресурсным проблемам включали также разработку технологий освоения в энергетических целях альтернативных видов топлива: шахтного метана и растительных биомасс.

В природе, наряду с месторождениями природного газа, которые состоят практически из «чистого» метана, существуют большие запасы горючих газов, в которых метан находится в состоянии, разбавленном балластными примесями, типа шахтного метана. Такой же состав имеют газы биохимического происхождения и целого ряда газификационных производств. По содержанию энергоресурсов эти газы значительно превышают разведанные запасы природного газа и могли бы стать ему альтернативой. Однако, практическая реализация этих потенциальных возможностей ограничивается негативным влиянием балластных примесей на физико-химические и теплотехнические характеристики горючих газов. Специфические трудности вызывает не столько само наличие в газе этих примесей, но часто меняющаяся их концентрация. Особенно это создает большие трудности в ГТУ и ПГУ, где регулирование мощности сопровождается сменой режимных параметров процесса горения.

Необходимо было создать способ эффективного сжигания забалластированных метановых газов переменного состава для ГТУ и ПГУ. Работа выполнялась в НИО «Проблем горения» в рамках тематического плана Министерства образования Украины «Методи і засоби економії первинних енергоресурсів та забезпечення екологічної безпеки енергогенеруючих технологій».

Проанализировав возможности, для решения проблемы было предложено использовать саморегулирующиеся струйно-стабилизаторные горелочные устройства КПИ. Были получены обобщающие зависимости, пригодные для расчета и анализа процесса горения газовых смесей типа шахтного метана с различным их составом [26, 27, 28, 29].

Дефицит нефти и газа, а также высокие цены на них стимулируют во всем мире интерес к альтернативным видам энергоносителей, среди которых определенная роль отводится топливам растительного происхождения, различным видам растительной биомассы. Использование биомассы не только позволяет сократить расход дефицитных углеводородных топлив, но и способствует решению проблем охраны окружающей среды, так как открывает возможности вовлечения в топливный баланс широкой гаммы отходов сельскохозяйственного производства, пищевой, деревообрабатывающей промышленности, которые при горении дают меньше вредных выбросов в атмосферу, чем традиционные органические топлива.

Конверсия газотурбинных двигателей на другие виды топлива была одной из постоянных специализаций НИО «Проблем горения» ТЭФ КПИ. Выполнен большой объем работ, посвященных разработке и исследованию технологии эффективного сжигания в ГТУ альтернативных топлив – шахтного метана, биогаза, сжиженного пропан-бутана, топлива с добавками водорода, рапсового масла в смеси с дизельным топливом. Для разных потребностей такие работы проводились вместе с ЦИАМ, Институтом проблем машиностроения НАН Украины и кафедрой машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств химико-технологического факультета КПИ. Попутно с решением топливных проблем, значительный объем работ составляли разработки разнообразных способов уменьшения токсичных продуктов сгорания.

Традиционными были и международные связи. На кафедре получали образование иностранные студенты, аспиранты. В 1980–1990 годах совместными исследованиями ученых КПИ и Центрального Университета Лас Вильяс (ЦУЛВ) (Санта Клара, Куба) была разработана оригинальная технология замены нефтяного и газового топлив факельным сжиганием отходов переработки сахарного тростника и других видов растительных биомасс. Для практического использования таких биомасс в качестве энергетического или промышленного топлива, для минимизации связанных с этим капитальных затрат необходимы рациональные технологии их сжигания, допускающие взаимозаменяемость с другими топливами, легкость регулирования и автоматизации процесса горения.

Разработка эффективного сжигания отходов переработки сахарного тростника проводилась в НИО «Проблем горения» с участием кубинских аспирантов применительно к сжиганию древесины и отходов переработки сахарного тростника – багассо и меолье. Для разработки эффективных методов подготовки и использования багассы в качестве топлива с минимальным загрязнением окружающей среды изучались их физико-химические свойства и кинетические характеристики. В стендовых условиях изучалась кинетика процессов удаления влаги, прогрева, газификации, воспламенения и выгорания элементарных частиц багассо разных размеров, плотности и влажности [30].

Полученные эмпирические данные и обобщающие зависимости позволили более рационально осуществить расчетно-конструкторские разработки энергетических и топочных устройств для сжигания, а также установок для сушки и термической переработки багассы.



Професор В. А. Христич і аспірант Абелардо Родригес во время испытаний ротационного горелочного устройства в промышленных условиях. Куба. 1990 г.

Каждой тонне багассо, используемой в качестве сырья или топлива, сопутствует 0.4 т другого продукта – меолие (мелкие фракции отходов переработки сахарного тростника), однако они резко отличаются своими физическими свойствами. Ввод меолие в топливный баланс позволял существенно сократить потребление нефтепродуктов в производстве энергии и, одновременно, высвободить значительное количество багассо для использования в качестве сырья для химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Традиционные методы сжигания твердых топлив не могли обеспечить эффективного сгорания меолие в котельных топках промышленных печей.

Меолие – вредный для здоровья продукт, вызывающий опасные заболевания дыхательных путей. В связи с этим меолие обычно уничтожалось путем неэффективного горения, загрязняя окружающую среду интенсивными дымовыми выбросами.

В результате совместных советско-кубинских исследований пришли к выводу о возможности применения для сжигания багассо и меолие методов, применяемых при сжигании газовых топлив. Одним из таких методов являлся разработанный в КПИ метод диффузионного сжигания газовых топлив в турбулентном следе за стабилизатором. Была разработана ротационная (вращающаяся) горелка. Экспериментальная часть работы выполнялась Д. Абелардо в условиях заочной аспирантуры на лабораторном стенде, установленном на заводе азотных удобрений (г. Сьенфуэгос) и на промышленном образце горелки, установленной на печи комбината «Pro-Cuba» (г. Крузес) под научным руководством профессора В. А. Христича. Получены положительные результаты.

Рациональный способ сжигания меолие стал источником полезного тепла, способного в значительной мере покрыть потребность данного вида производства в тепловой энергии.

Новизна оригинальной технологии замены нефтяного и газового топлива факельным сжиганием подтверждена авторскими свидетельствами СССР и кубинскими патентами [31, 32, 33].

В процессе промышленной эксплуатации горелки

получена принципиальная возможность работы ее на трех видах топлива: твердом (багассо, меолие, древесные опилки), жидком и газообразном.

Создание такого горелочного устройства сыграло для экономики Кубы большую роль, так как позволило решить одновременно три проблемы: топливную, сырьевую и экономическую. Разработанная горелка позволила ввести в топливный баланс страны меолие, бесполезно уничтожаемое в связи с вредностью, высвободить значительное количество багассо для использования в качестве сырья химической, целлюлозно-бумажной и другими отраслями промышленности, сократить применение в качестве топлива нефтепродукты [34, 35, 36, 37].

Коллектив НИО «Проблем горения» КПИ внес большой вклад в создание современных прогрессивных энергогенерирующих технологий, а также в усовершенствование природоохраняемых способов от негативного влияния этих технологий на окружающую среду.

Совокупность разработанных в КПИ методов сжигания топлив представляет универсальную базу технологических решений, обеспечивающих эффективное сжигание топлив в установках различного энергетического и промышленного назначения. В работах реализованы неординарные научно-технические решения, выполнен поэлементный структурный анализ исследуемых процессов и систем, комплексное решение научно-технических задач и оперативный отклик на требования промышленности [38, 39].

Достижение равновесия в окружающем мире и одновременная реализация научных открытий, создание комфортных условий для жизнедеятельности составляют первооснову устремлений человечества в развитии цивилизаций.

Создавая новые устройства, придумывая аппараты для быстрого перемещения в земном пространстве, для обогрева и освещения, человек вторгается в окружающий мир. Проблемы экологии выходят на первый план, и их актуальность напрямую связана с прогрессом и в такой определяющей дальнейший ход цивилизации сфере как энергетика.

Внутри этой отрасли существует ряд научных и прикладных проблем, решение которых позволяет минимизировать вредное воздействие на природу. Одна из них – эффективность сжигания природного топлива. Именно от уровня эффективности установок, в которых проходит контролируемая химическая реакция горения, обратно пропорционально зависит количество вредных веществ – выбросов. Задача научно-технического прогресса состоит в том, чтобы всю природоохранную деятельность строить на основе новейших достижений науки и техники [40].

Источники и литература:

1. Тумановский А. Г. Некоторые пути снижения концентрации оксидов азота в камерах сгорания ГТУ / А. Г. Тумановский // Теплоэнергетика. – 1973. – № 6. – С. 30-33.
2. Гавриш С. А., Диденко В. И., Любчик Г. Н., Христич В. А. О токсичности выхлопа газотурбинных двигателей / С. А. Гавриш, В. И. Диденко, Г. Н. Любчик, В. А. Христич // Энергомашиностроение. –

1977. – № 12. – С. 21-23.
3. Христин В. А., Тумановский А. Г. Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды / В. А. Христин, А. Г. Тумановский. – К.: Техника, 1983. – 142 с.
 4. Швец И. Т., Христин В. А. Экспериментальное исследование испарительной камеры сгорания / И. Т. Швец, В. А. Христин // Труды Института им. П. И. Баранова. – М., 1958 г. – № 346. – С. 1-8.
 5. Христин В. А. К вопросу о применении в авиационных газотурбинных двигателях камер сгорания испарительного типа / В. А. Христин // Газодинамика и теплопередача. Сборник научных трудов. – Выпуск 1. – К.: КИИГА, 1964. – С. 74-87.
 6. Христин В. О., Босий В. В. Внесок теплоэнергетичного факультету КПІ в розвиток сучасних прогресивних енерготехнологій / В. О. Христин, В. В. Босий // Наукові вісті Національного технічного університету КПІ «Київський політехнічний інститут». – 1997. – № 1. – С. 49-54.
 7. Христин В. А., Башкатов Ю. Н., Чернин Е. Н. Влияние конструкции горелочного устройства на характеристики газотурбинной камеры сгорания / В. А. Христин, Ю. Н. Башкатов, Е. Н. Чернин // Энергомашиностроение. – 1964. – № 9. – С. 12-15.
 8. Христин В. А. Любчик Г. Н. Новый метод организации диффузионного сжигания газа / В. А. Христин, Г. Н. Любчик // Газовое дело. – 1962. – № 11. – С. 41-43.
 9. Христин В. А. Любчик Г. Н. Высокофорсированное сжигание газа при переменных избытках воздуха / В. А. Христин, Г. Н. Любчик // Труды Института им. П. И. Баранова. – М., 1965. – № 252. – С. 1-11.
 10. Христин В. А., Любчик Г. Н. Струйно-стабилизаторные горелочные устройства и их применение в энергетике и промышленности / В. А. Христин, Г. Н. Любчик // Доклады XI Международного газового конгресса. – М., 1970. – С. 1-19.
 11. А. с. 168213 СССР. Газовая горелка с отдельной подачей горючего газа и воздуха / В. А. Христин (СССР). – № 820883/25-27; заявл. 20.02.63; опубл. 18.02.1965, Бюл. № 4.
 12. Христин В. А. О путях снижения эмиссии NOx при сжигании топлив с высокими и переменными избытками воздуха / В. А. Христин // Образование окислов азота в процессе горения и пути снижения выброса их в атмосферу. – К.: Наукова думка, 1979. – С. 7-14.
 13. Канило П. М., Подгорный А. Н., Христин В. А. Энергетические и экологические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода / П. М. Канило, А. Н. Подгорный, В. А. Христин. – К.: Наукова думка, 1987. – 222 с.
 14. Христин В. А. Струйно-стабилизаторный способ смесеобразования и горения как один из методов повышения экономичности и снижения токсичности газотурбинных двигателей / В. А. Христин // Проблемы машиностроения. – К.: АН УССР, ИПМ, 1983. – Вып. 20. – С. 63-66.
 15. Христин В. А., Варламов Г. В. Газотурбинные установки: история и перспективы / В. А. Христин, Г. В. Варламов. – К.: НТУУ «КПИ», 2006. – 384 с.: ил.
 16. Христин В., Зембжуски М., Миллер Р., Никодэм З. Влияние конфигурации пилотного пламени на коэффициент полноты термического дожигания газовых выбросов / В. Христин, М. Зембжуски, Р. Миллер, З. Никодэм // Информация «Защита атмосферы», Мерзебург (ГДР). – 1982 г., март-апрель. – С. 175-179.
 17. Никодэм З., Христин В. А., Чмель В. Н. Газовая горелка для термического обезвреживания промышленных выбросов и некоторые особенности ее рабочего процесса / З. Никодэм, В. А. Христин, В. Н. Чмель // Труды VI симпозиума и VIII рабочего совещания стран СЭВ. – Дрезден, 1980.
 18. Банашак Т., Миллер Р., Зембжуски М., Христин В. А. Дожи́гание отбросных газов / Т. Банашак, Р. Миллер, М. Зембжуски, В. А. Христин. // Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej, 1988, Nr 33, s. 87-91.
 19. Христин В. А., Чмель В. Н., Никодэм З. Работа струйно-стабилизаторного горелочного устройства в условиях термического обезвреживания вредных промышленных выбросов / В. А. Христин, В. Н. Чмель, З. Никодэм // Тезисы докладов Всесоюзного научно-практического семинара «Повышение эффективности использования газа и мазута в отраслях народного хозяйства». Москва, 30 сентября – 4 октября 1980 г. – С. 36-37.
 20. Zembrzuski M., Kosim Z., Nikodem Z. Kinytyka tworzenia tlenku azotu. – Archiwum Energetyki «PAN W-wa», 1975, Nr 1, s. 15.
 21. Zembrzuski M., Kosim Z., Miller R., Nikodem Z. Rozeznanie danych literaturowych na temat metod spalania gazow z weglowodorami – Raport Nr 1-20/R-103/74. Politechnika Wroclawska.
 22. Любчик Г. Н., Христин В. А., Плоткин Д. М., Ольховская Н. Н. Разработка банка данных эмиссии NOx в камерах сгорания ГТУ и возможности его реализации / Г. Н. Любчик, В. А. Христин, Д. М. Плоткин, Н. Н. Ольховская // Высокотемпературные технологии с горением. – К., 1995. – С. 43-56.
 23. Христин В. А., Левчук С. А., Хусейн Баб, Ольховская Н. Н. Подавление эмиссии NOx в газотурбинных установках впрыском водяного пара / В. А. Христин, С. А. Левчук, Баб Хусейн, Н. Н. Ольховская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С. 56-59.
 24. Баб Х. М., Христин В. О., Левчук С. О., Ольховська Н. М. Оптимізація «екологічного» вприску водяної пари в газотурбінну камеру згорання з метою зменшення емісії NOx / Х. М. Баб, В. О. Христин, С. О. Левчук, Н. М. Ольховська // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. – 1998. – № 8. – С. 81-84.
 25. Христин В. О., Хусейн Баб, Левчук С. О., Ольховська Н. М. Зволоження горючої суміші як зменшення забруднення довкілля токсичними оксидами азоту і його ефективність / В. О. Христин, Баб Хусейн, С. О. Левчук, Н. М. Ольховська // Наукові вісті НТУУ «КПІ». Серія «Теплоенергетика». – 1997. – С. 97-101.

26. Христин В. О., Левчук С. О. та ін. Технологія сумішоутворення і забезпечення стабільності горіння метано-повітряних сумішей перемінного складу (типу шахтного метану) / В. О. Христин та ін. // Збірник анотацій науково-технічних розробок, виконаних науковцями університету у 1997 році. – Київ, 1988. – С. 44.
27. Христин В. О., Хіжазі А. та ін. Особливості дифузійного горіння палив типу шахтного метану стосовно до умов газотурбінних камер згорання / В. О. Христин та ін. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1998. – № 3. – С. 33-38.
28. Христин В. А., Хіжазі А. и др. Микрофакельное горение метано-воздушных смесей переменного состава / В. А. Христин и др. // Экологические и ресурсосбережение. – 1998. – № 3. – С. 43-47.
29. Хіжазі А., Христин В. О. та ін. Особливості горіння дифузійного факела газових палив змінного складу в полі турбулентності струменево-стабілізаторного модуля / А. Хіжазі, В. О. Христин та ін. // Вісник Київського Будинку економічних та науково-технічних знань. – 1998. – № 8. – С. 78-80.
30. Роке Диас П. Р., Шемет В. Ж., Лавренко В. А., Христин В. А. Механизмы горения и термической деструкции багассы / П. Р. Роке Диас, В. Ж. Шемет, В. А. Лавренко, В. А. Христин. // Химическая технология. – 1984. – № 6. – С. 32-35.
31. А.с. 1348609 СССР. Горелочное устройство для сжигания пылевидного топлива / В. А. Христин, Р. А. Абелардо. – № 4026398/24-06; заявл. 26.02.86; опубл. 30.10.1987, Бюл. № 40.
32. Hristich V. A., Abelardo D. Rodriguez Arias. Quemador para el quemado de combustible en polvo // Patent de Cuba № 21752. – 1987. – С1 – F23 Д 1/02.
33. Abelardo D. Rodriguez Arias, Hristich V. A. Quemador universal para el quemado de combustibles solidos, liquidos y gaseosos // Patent de Cuba № 21753. – 1987. – С1 – F23 Д 17/00.
34. Abelardo Daniel Rodriguez Arias, V. A. Hristich. Diseno y construccion de un nuevo tipo de quemador de polvo y aplicacion a nuestra industria // Ponencia del Segundo Simposio Nacional de economia material – Habana: Comite estatal abastecimiento tecnico material, 1986. – P. 61.
35. Abelardo Daniel Rodriguez Arias, V. A. Hristich. Nuevo tipo de quemador para combustibles solidos y sus aplicaciones a nuestra industria // Ponencia del II Forum Nacional de energia. – Cienfuegos, 1987. – P. 22-23.
36. Jesus Avalo Rodriguez, Abelardo Rodriguez Arias, Hristich V. A. Nuevo tipo de quemador para combustible en polvo y sus aplicaciones en nuestra industria // Energia. La Habana, Cuba Revista. 1/89. – P. 43-44.
37. Родригес А. Д., Роке П., Христин В. А. Факельное сжигание дисперсных топлив растительного происхождения с помощью ротационной горелки / А. Д. Родригес, П. Роке, В. А. Христин // Промышленная теплотехника. – 1992. – № 1-3. – С. 25-32.
38. Христин В. А., Любчик Г. Н., Хасан Х. Локальная интенсификация смесеобразования в первичной зоне как средство снижения эмиссии NOx газотурбинной камеры сгорания / В. А. Христин, Г. Н. Любчик, Х. Хасан // Тезисы докладов XXVIII Всесоюзной научно-технической сессии по проблемам газовых турбин. – Харьков, 1991. – С. 30-31.
39. Христин В. А., Броздниченко Ю. Г. и др. Интенсификация смесеобразования и снижение эмиссии NOx в струйно-стабилизаторном модуле / В. А. Христин и др. // Газотурбинные и комбинированные установки. Тезисы докладов Всесоюзной межвузовской конференции. – Москва, 1991. – С. 181.
40. Христин В. А. Энергосбережение в процессе генерирования энергии на тепловых электростанциях / В. А. Христин // Материалы 1-й Международной конференции по управлению использованием энергии. Киев, 12-15 декабря 1995 г. – С. 87-94.



Христин Ама Степанівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Державного політехнічного музею при НТУУ «КПІ»



Татарчук Віталій Вячеславович – завідувач відділу Історії Київського політехнічного інституту Державного політехнічного музею при НТУУ «КПІ»