

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Приведен обзор основных результатов теоретических и экспериментальных исследований в области термогазодинамики ракетно-космических двигателей, тепловых энергетических установок и технологического оборудования, полученных коллективом сотрудников отдела термогазодинамики энергетических установок Института технической механики Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и НКАУ) за последние 10 лет.

Basic results of theoretical and experimental research in the thermogas dynamics of rocket and space engines, thermal power plants and process plant obtained by researchers of the Thermogas dynamics Power Department of the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine (ITM, NASU&NSAU) for the last 10 years are presented.

В настоящей статье сообщаются основные результаты исследований по одним из наиболее актуальных направлений научно-технического прогресса в области термогазодинамики ракетно-космических двигателей, угольных тепловых энергоустановок, технологических и бытовых камер сгорания твердых, жидких и газообразных топлив, энергоустановок технологического оборудования для газоструйного измельчения и сушки сыпучих материалов, выполненных в отделе термогазодинамики энергетических установок ИТМ НАНУ и НКАУ (ИТМ) за последние 10 лет. Большинство полученных результатов опубликовано [1 – 104] и относятся к следующим областям научно-технических разработок:

- развитие теории рабочих процессов, расчетных и экспериментальных методов определения характеристик процессов и энергоустановок в целом, методов их проектирования и отработки;
- разработка способов и устройств управления процессами с целью повышения экономических, экологических и эксплуатационных характеристик, комплексный анализ энергоустановок и основных направлений их дальнейшего совершенствования и развития;
- совершенствование и развитие экспериментальной базы ИТМ;
- разработка рекомендаций, экспертных заключений, руководящих и нормативных документов по исследованию, проектированию, отработке и эксплуатации исследуемых объектов.

Термогазодинамика и тепломассообмен в ракетно-космических двигателях [1 – 54]. Анализ направлений создания перспективных ракетных двигателей для ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов, выполненный в ряде зарубежных и отечественных организаций, в том числе и ИТМ, показал, что дальнейший прогресс в развитии ракетно-космических двигателей во многом зависит от разработки новых «прорывных» технических решений, повышающих функциональные возможности двигателя и рационально организующих термогазодинамический процесс использования топлива [1 – 5].

Прогресс в развитии жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и твердо-топливных ракетных двигателей (РДТТ) традиционных схем отечественные и зарубежные специалисты связывают с совершенствованием принципиальных пневмогидравлических схем, поскольку реальные энергетические, кон-

структурские и технологические возможности двигателей традиционных схем уже практически исчерпаны [1, 2].

Системный анализ дальнейшего развития ракетно-космического двигателя телестроения позволяет определить основные направления работ, в частности, по созданию:

- ЖРД с дожиганием выхлопного генераторного газа турбины в сверхзвуковой части сопла;
- новых систем регулирования вектора тяги двигателей;
- ЖРД и РДТТ со сверхплотной компоновкой двигательной установки (ДУ) и ступени ракеты, что возможно при использовании ЖРД или РДТТ со стационарными камерой сгорания или сопловым блоком и с газодинамическим управлением вектором тяги (УВТ) двигателя;
- новых типов ЖРД и РДТТ с детонационным горением топлива;
- ЖРД и РДТТ с многократным включением, с глубоким дросселированием тяги, с более совершенными охлаждаемыми и неохлаждаемыми элементами конструкций камер;
- двигателей для КА, решающих проблемы космического мусора.
- устройствами, повышающими эффективность использования энергии газовых потоков в термогазодинамических процессах путем управления газовыми потоками. В соответствии с этим одним из основных направлений работ в отделе было совершенствование термогазодинамических процессов в камерах сгорания и сопловых блоках (СБ), а также газодинамических систем УВТ.

Системы УВТ ракетных двигателей (РД) путем инъекции в сверхзвуковую часть сопла продуктов сгорания ракетных топлив интенсивно и разнопланово исследовались в ИТМ совместно с ГКБ «Южное» начиная с середины 60-х годов прошедшего столетия и успешно применены ГКБ «Южное» в ряде жидкостных и твердотопливных двигателей 15Д12, 15Д169, 3Д65, 15Д206, обеспечив невзойденные до настоящего времени высокие энергомассовые, динамические, габаритные и эксплуатационные характеристики ступеней ракет [1, 3, 6].

Дальнейшие исследования отдела ИТМ по ЖРД были направлены на совершенствование схем и термодинамических процессов в соплах с большей степенью расширения, характерных для двигателей верхних ступеней ракет и разгонных блоков космических аппаратов. Двигатели такого назначения с турбонасосной системой подачи компонентов топлива в камеру сгорания выполняют по схеме без дожигания в камере сгорания выхлопного турбинного газа, так как в упомянутых условиях применения они обладают более высокими интегральными энергомассовыми характеристиками по сравнению с ЖРД с дожиганием выхлопного турбинного газа в камере сгорания [2, 6, 7, 22 – 27].

В результате поисковых исследований разработаны новые (на уровне изобретений) способы и принципиальные схемы ЖРД с дожиганием выхлопного турбинного газа в сверхзвуковой части сопла и новые схемы УВТ [22 – 27]. Такие схемы ЖРД позволяют повысить удельный импульс тяги двигателя при сохранении высоких массовых характеристик конструкции, простоты отработки и надежности двигателя, характерных для ЖРД без дожигания выхлопного газа турбины. Предложенные схемы дожигания выхлопного турбинного газа обладают высокими потенциальными возможностями для газодинамического регулирования вектора тяги камеры РД путем несимметрич-

ного распределения по четвертям (плоскостям стабилизации) сечения сопла расхода вдуваемого выхлопного газа и впрыскиваемого компонента топлива в сверхзвуковой поток сопла. Использование некачающегося РД без выхлопных сопел с регулируемым вектором тяги камеры открывает новые перспективы по созданию ДУ плотной компоновки [7, 8, 23].

В дальнейшем проводились исследования термогазодинамических процессов дожигания выхлопного турбинного газа в сверхзвуковой части сопла и систем термогазодинамического регулирования вектора тяги. При этом исследовались следующие аспекты этой задачи [9 – 20]:

- особенности организации инжекции выхлопного турбинного газа и окислительного компонента топлива в сверхзвуковую часть сопла;
- гидродинамика струй, проникающих в сверхзвуковой поток над обтекаемой поверхностью, с целью формирования управляющего струйного препятствия;
- процессы распыливания, смесеобразования и горения вдуваемого газа и впрыскиваемого окислительного компонента топлива;
- течение двухслойного сверхзвукового газового потока в сопле при наличии источников массы и тепла;
- возмущения сверхзвукового потока над обтекаемой поверхностью при симметричной и несимметричной инжекции газа или жидкости и теплообменные процессы в сопле камеры РД;
- эпюры возмущений давления и сил на обтекаемой неадиабатическим (с подводом массы и тепла) и адиабатическим сверхзвуковым потоком поверхности сопла.

Исследования закономерностей возмущения сверхзвукового потока впрыском жидкости в сверхзвуковую часть сопла позволили определить основные факторы, влияющие на эффективность управления вектором тяги РД. К ним относятся: физические свойства и термодинамические параметры впрыскиваемой жидкости и набегающего сверхзвукового потока, угол и скорость впрыскиваемой жидкости, конструкция впрыскивающих устройств, угол конусности сопла и относительная протяженность области взаимодействия потоков. Было установлено, что оптимальные значения двух последних параметров зависят от диаметра критического сечения, степени расширения и угла конусности сопла камеры РД. С увеличением геометрических размеров сопла создаются условия для повышения боковых сил за счет повышения полноты испарения и выгорания в нем впрыскиваемых компонентов топлива. При этом оптимальное расположение инжектирующих устройств (форсунок впрыска) смещается от средней области сопла ($\bar{l}_{вп} = l_{вп} / L_c \approx 0,5$, где $l_{вп}$ – расстояние от места впрыска до среза сопла; L_c – длина сопла) в сторону выходного сечения.

Было показано, что эффективным средством повышения полноты дожигания генераторного газа и, таким образом, повышения экономичности РД и системы регулирования вектора тяги является использование окислителя, подогретого в охлаждающем тракте камеры РД. Дальнейшее повышение полноты дожигания генераторного газа (путем сокращения длины зоны его взаимодействия с окислителем) может быть достигнуто генерированием в окислителе (перед подачей его в сопло) низкочастотных пульсаций давления специальным генератором либо специальной форсункой со встроенным генератором. Предложены принципиальные схемы таких генераторов.

Особое внимание было уделено малоисследованному способу управления вектором тяги, основанному на выдвигании в сверхзвуковой поток в средней части сопла твердых интерцепторов относительно небольших размеров с одновременным впрыском через них жидкости, в частности компонентов ракетных топлив, либо вдувом относительно холодного газа [3, 6, 13, 14, 23, 25]. Впрыском жидкости была решена задача повышения экономичности использования жидкости (активных компонентов топлива) для управления вектором тяги и защиты интерцептора от высокотемпературного и эрозионного воздействия сверхзвукового потока.

Интерцептор, возмущая набегающий сверхзвуковой поток газа, интенсифицирует процессы смешения и сгорания впрыскиваемого активного компонента топлива, а стенки интерцептора защищаются омывающей их жидкостью (либо относительно холодным газом).

Были разработаны решения по повышению экономичности рабочих процессов в интерцепторных системах и совершенствованию программ их функционирования. Так, в интерцепторной системе с впрыском основная часть управляющего импульса (с небольшими управляющими усилиями на длительном промежутке времени) создается твердым телом интерцептора и только меньшая часть (с большими управляющими усилиями на небольшом промежутке времени) создается интерцептором с дополнительным впрыском через него жидкости. В случае кратковременного форсирования управляющего усилия (для парирования больших возмущающих воздействий) форсируется расход впрыскиваемого топлива через интерцептор. С целью устранения отрицательного влияния на боковое усилие донной области за интерцептором предложен ряд схем вторичной инжекции газа в донную область за интерцептором, в частности схемы с саморегулирующимся перепуском газа с противоположной стенки сопла в донную область. Для двигателей, работающих в атмосферной среде, разработана схема со вдувом в донную область воздуха, отбираемого из атмосферы, и др.

Разработаны, исследованы и показаны преимущества импульсных интерцепторных устройств для решения ряда современных и перспективных задач управления полетом летательного аппарата (ракет, головных частей, управляемых активно-реактивных снарядов и др.)

Разработаны методики расчетного и экспериментального исследования интерцепторных систем, методики определения их оптимальных параметров. Работоспособность схем и конструкций интерцепторных устройств подтверждена их огневыми испытаниями в составе ЖРД и РДТТ.

Из результатов комплексного анализа следует, что новые решения по газодинамическому регулированию вектора тяги камеры представляют наибольший интерес для ЖРД с кольцевым выхлопом турбинного газа [6 – 8, 23 – 27]. Впрыск окислителя позволяет повысить экономичность ДУ и системы регулирования вектора тяги.

Совершенствование гидравлических схем ЖРД в обеспечение регулирования вектора тяги, многократного запуска, глубокого дросселирования тяги неизменно связано с совершенствованием средств обеспечения и методов исследования тепловых режимов элементов конструкции камеры, турбонасосного агрегата (ТНА) и других узлов. В этой связи решен ряд задач по тепломассообменным процессам в камере и ТНА [28 – 31].

В связи с реализуемым на практике широким по времени диапазоном пауз между включениями решались задачи обеспечения теплового режима конструкции и скорости опорожнения топливных трактов двигателя от компонентов топлива. Для расчетного исследования упомянутых процессов использовались разной точности и полноты математические модели и методы расчетных исследований. Решены задачи по выбору оптимальных схем и дренажных устройств в зависимости от приоритета требований по скорости опорожнения топливных трактов либо требований по тепловому режиму элементов конструкции.

Разработаны методика и программа расчета теплового режима турбины турбонасосного агрегата двигателя и выполнены исследования теплового состояния ее элементов в период после останова в условиях их охлаждения при непрерывном и импульсном душировании статора и ротора горючим компонентом топлива. Показаны преимущества импульсной подачи охладителя; определены оптимальные интервалы между подачами охладителя, при которых расходуется наименьшая масса охладителя.

Важным направлением последних работ было создание методики и решение задачи по оценке величины бокового усилия, генерируемого впрыском компонента топлива в сопло ЖРД, по данным летных испытаний и данным наземной отработки двигателя [6, 9]. Такая задача возникает на этапе летных испытаний или в процессе эксплуатации ряда образцов ракетной техники (ЖРД или РДТТ). С использованием телеметрической информации о параметрах полета изделия, а также результатов наземной отработки двигателя и исследований газодинамических процессов, протекающих в сопле, определены боковые силы в сопле ЖРД 11Д25 РН «Циклон-3» №40 Л, возникающие при случайной инжекции в сверхзвуковую часть сопла компонентов топлива или продуктов их сгорания.

Исследования отдела по РДТТ [35 – 50] были направлены на совершенствование и разработку новых конструктивно-компоновочных схем и термогазодинамических процессов в камерах сгорания и сопловых блоках с целью резкого повышения габаритно-массовых характеристик двигателя и расширения его функциональных возможностей. Создание ракет со сверхплотной компоновкой считается недалекой перспективой и связано (как следует из результатов исследований, в том числе выполненных в отделе [2, 4]) с созданием нетрадиционных камер сгорания (в том числе исследованных в отделе камер с управляемой детонационной газификацией топлива), сопловых блоков (колоколообразных, кольцевых, без сужающейся дозвуковой части, с управляемым механическим или газодинамическим насадком и др.). При этом особое внимание в исследованиях было уделено тарельчатому соплу – кольцевому соплу с внутренним расширением потока. Поток в таком сопле защищен от внешних воздействий, а вектор тяги может эффективно регулироваться как по величине, так и по направлению газодинамическими исполнительными органами, как было показано, оптимальными для плотных компоновок ракет [3, 4, 6]. Были разработаны различные конструктивные схемы тарельчатого сопла и программно-методическое обеспечение расчета его характеристик, показана перспективность разработанной в ИТМ схемы тарельчатого сопла с проточным центральным телом, позволяющим сократить продольные габариты сопла и обеспечить управление вектором тяги двигателя как по величине, так и по направлению.

Исследования газодинамического регулирования вектора тяги РДТТ позволили разработать систему вдува камерного газа в сопло двигателя с клапанами без «нулевых» (в закрытом положении) утечек газа, что позволяет повысить его энергетические и функциональные возможности за счет регулирования осевой тяги и расширения диапазона регулирования вектора тяги, повысить стабильность регулировочных характеристик, работоспособность элементов конструкции сопла и органов управления вектором тяги [6, 32]. Было также показано, что резервом улучшения энергетических характеристик РДТТ является совершенствование горения и истечения из сопла продуктов сгорания, в частности использование двухсоставных зарядов, комбинации нескольких катализаторов горения твердого ракетного топлива, выполненных в виде шнуров или зерен с детонирующим топливом [33 – 38].

С использованием разработанной статистической модели и комплексного подхода к проектированию узлов фланцевых соединений (ФС) как многофункциональной конструктивной системы, предложены и исследованы с учетом современных требований к созданию, эксплуатации и утилизации ракетно-космической техники новые конструктивные схемы ФС крупногабаритных РДТТ со стеклопластиковым корпусом, позволяющие уменьшить массу РДТТ, упростить технологию их изготовления и разборки при утилизации [39 – 47].

Отдел совместно с ГП «КБ «Южное» занимался перспективным направлением развития ракетно-космического двигателестроения – созданием двигателей с управляемым детонационным горением топлива [1, 3, 5, 34, 51]. Разработаны и испытаны различные типы детонационных двигателей (ДД), использующие в качестве топлива детонационные шнуры. Ряд разработок запатентован в России и Украине. Для проведения экспериментальных исследований процессов в ДД в ИТМ была создана уникальная экспериментальная база с различными стендами для измерения импульсных характеристик ДД. Проведено более 200 испытаний ДД разных схем, подтвердивших высокую эффективность устройств с детонационным горением топлива. В последнее десятилетие развивалась теория детонационных ракетно-космических двигателей, разрабатывались методы расчета характеристик ДД, рекомендации по их разработке, отработке и условиям эффективного использования [34, 51 – 54]. В частности, показана возможность использования ДД в качестве маршевых двигателей, рулевых двигателей для создания калиброванных управляющих усилий, двигателей для стабилизации и коррекции орбиты летательного аппарата, для управления и коррекции полета управляемых снарядов и ряда других специальных объектов. Отмечается, что импульсные устройства с детонационным горением топлива могут применяться во многих областях народного хозяйства для выполнения технологических задач, некоторых задач в условиях аварийных ситуаций и др.

В последние годы в отделе начали развиваться работы по исследованию рабочих процессов и созданию ДД, работающих на газообразном и газожидкостном топливе.

Новое в технологии сжигания низкосортного угля [55 – 68]. В процессе исследований, выполненных ИТМ совместно с ГП «КБ «Южное», разработана и исследована новая прямоугольная большой длины подовая решетка лопаточно-щелевого типа [56], обеспечивающая устойчивый кипящий слой (КС). Разработаны и исследованы золоуловители-возвратники (мультициклоны шнекового типа) уносимого недожога в топку, а также устройства эмуль-

гационной очистки дымовых газов. Дальнейшие исследования позволили разработать новый способ организации КС над упомянутой подовой решеткой с газодинамической транспортировкой золошлаковых отходов и усовершенствовать подовую решетку, обеспечив устойчивый КС [57 – 58]. В обеспечение экспериментальных исследований в ИТМ совместно с ГП «КБ «Южное» были созданы уникальные стенды – «Кипящий слой», «Циклон» и «Эмульгатор».

В результате исследований усовершенствованной подовой решетки получены новые данные относительно: рабочих процессов дутьевых устройств и подовой решетки; параметров КС при разных режимах дутья и положении направляющих лопаток; влияния параметров и устройств решеток на равномерность и устойчивость КС, на гидродинамическое сопротивление решетки и КС, на характеристики начального периода формирования КС и др. [55 – 63].

Показано, что устойчивый КС реализуется при равномерной подаче воздуха в топку как через вертикально установленные лопатки решетки, так и наклоненные в сторону выгрузки шлаков. В последнем случае возможно одновременно производить загрузку новых порций топлива и выгрузку золошлаковых отходов.

В кипящем слое над лопаточно-щелевой решеткой при частичной загрузке топлива экспериментально обнаружено существование диффузорного эффекта, ведущего к неустойчивости КС, и предложено решение по его устранению, оформленное как патент Украины.

Впервые экспериментально для кипящего слоя в ограниченном объеме над лопаточно-щелевой решеткой с наклоненными лопатками установлен факт продольного перемещения слоя над решеткой, тем самым доказана возможность создания кипящего поточного слоя и оформлен патент на новый способ сжигания низкосортных углей. Этот способ отличается тем, что поток воздуха направляют вертикально до стабилизации кипящего слоя, затем поток поворачивают в сторону места разгрузки шлака для его перемещения и высыпания. Параллельно с этим в топку засыпают новое топливо, которое продвигается, сгорая, к месту выгрузки шлака. Таким образом, процесс загрузки топлива, горение топлива и выгрузки шлаков разделен в пространстве и может не прерываться во времени.

Разработаны методики расчета параметров лопаточно-щелевой подовой решетки нового типа, которые позволяют расчетным путем определять проектные гидродинамические параметры решетки и потока в топке над подовой решеткой. Решена задача масштабирования и выведены коэффициенты подобия, что позволяет переходить от модели к более реальным устройствам для сжигания угля в КС.

В ходе экспериментов, проводимых на единичном шнековом циклоне [66 – 68], было обнаружено, что двухфазный поток при реально задаваемых скоростях образует завалы частиц перед входом в циклон, причем величина и протяженность их прямо пропорциональна величине скорости потока. Поэтому были усовершенствованы модели циклонов путем введения золоотводящих окон перед передней кромкой шнековых лопастей, усовершенствованы геометрические параметры окон, через которые происходило удаление частиц золы, определено их более рациональное расположение. В результате

проведенных работ относительную массу улавливаемых частиц в модели циклона удалось увеличить с 70 до 95%.

По проблеме соблюдения экологической чистоты производства выполнены исследования по очистке дымовых газов перед выбросом их в атмосферу [66 – 68]. Исследования выполнены на полномасштабной модели единичного фильтрующего элемента эмульгатора. Был разработан и исследован новый завихритель пластинчатого типа для закрутки дымовых газов в эмульгаторе, позволивший уменьшить его гидравлическое сопротивление в 2,5 – 3 раза по сравнению с традиционным завихрителем лопаточного типа. Получены количественные оценки повышения степени очистки газа при увеличении скорости золовоздушного потока и удельного расхода воды. Было показано, что фракционный состав золы и ее концентрация в дымовом газе мало влияют на уровень очистки газа.

Полученные результаты по усовершенствованию топки для сжигания угля и очистке дымовых газов использованы при модернизации Карагандинской теплоэлектростанции (ТЭС) и могут быть использованы при создании новых или модернизации других ТЭС.

Термогазодинамика камер с пульсирующим горением [69 – 76]. Проблемы улучшения экономических, экологических и эксплуатационных характеристик теплотехнического оборудования многих технологических процессов, а также энергетических установок коммунального и индивидуального использования остаются актуальными.

Большинство известных горелочных устройств реализуют ламинарный способ горения топлива, когда факел горения не пульсирует, а горение происходит на поверхности смешивающихся струй топлива с воздушным потоком или на поверхности жидкого или кускового твердого топлива. При этом конструкция большинства устройств такова, что компоненты топлива (например, газ-воздух) сгорают одновременно с интенсивным теплообменом на холодных поверхностях элементов конструкции. При таком способе сжигания топлива не удастся обеспечить высокую экономичность и экологичность процесса сжигания топлива.

Исследования различных конструкций горелочных устройств и процессов в них показали возможность повышения экономичности и экологичности процесса при организации пульсирующего режима горения топлива. Было показано, что за счет пульсирующего режима горения интенсифицируются процессы тепловыделения, улучшаются экологические характеристики продуктов сгорания, поступающих в окружающую среду.

В результате поисковых экспериментальных и теоретических исследований были разработаны новые способы и устройства сжигания топлива, обеспечивающие экономические, экологические и эксплуатационные преимущества по сравнению с существующими.

В процессе проведенных исследований были разработаны, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы горелочных устройств с повышенными экологическими и энергетическими характеристиками, в частности: для ОАО «Азот» (мощностью 2100 кВт) – применительно к камере сгорания системы подогрева нитрозного газа при производстве азотной кислоты; ОАО «Баглейкокс» (мощностью 2100 кВт); ОАО «Гордорремстрой» (мощностью 750 кВт) и др.

В процессе исследований были разработаны, изготовлены и испытаны модели устройств для безраспылительного сжигания жидкого топлива (мазута или соляра) [69]. Предварительные испытания показали принципиальную возможность организации бездымного горения мазута и соляра с поверхности дна перфорированной камеры сгорания с трехщелевым дожигающим устройством.

Экспериментальные исследования горелочных устройств проводились на стендах, созданных в ИТМ (стенд «Теплоаппарат»), и на экспериментальной базе ГП «КБ «Южное».

Измельчение сыпучих материалов [77 – 103]. Анализ тенденций развития технологических процессов измельчения и последующей переработки различных материалов показал перспективность работ в направлении увеличения производительности измельчителя и достижения требуемых технологическим процессом свойств готового продукта измельчения. Одним из путей решения этой проблемы является подогрев энергоносителя твердых частиц исходного материала. Технология газоструйного измельчения дает сравнительно высокие эффекты раскрытия минералов и механоактивации для особо твердых материалов (алмаз, корунд, карбид кремния и др.) и трудно раскрываемых руд. Как показала практика, при действии температурного фактора указанные процессы усиливаются, а некоторые технологические процессы переработки порошков могут протекать только при воздействии высокой температуры на продукт переработки.

Исследования влияния подогрева рабочего энергоносителя на характеристики процесса газоструйного измельчения проводились на экспериментальных установках УСИ-02 и УСИ-20 с производительностью по готовому продукту 0,2 кг/час и 20 кг/час, соответственно.

Установка УСИ-02 была оснащена электрическим подогревателем энергоносителя. Установка УСИ-20 оснащалась газогорелочным подогревателем двухконтурной схемы. Первый контур подогревателя обеспечивал подачу воздуха высокого давления (0,3 – 0,7) МПа в инжекторы помольной камеры измельчителя; второй контур служил для подачи воздуха низкого давления (~ 0,08 МПа) в газогорелочное устройство. Электрический подогреватель обеспечивал температуру энергоносителя до 150 °С, газогорелочный – до 1400 °С. Оба типа подогревателя обеспечивали подачу чистого энергоносителя (без загрязняющих примесей).

При экспериментальных исследованиях газоструйного измельчения с холодным энергоносителем (~ 20 °С) показана принципиальная возможность получения сверхтонких порошков (с диаметром частиц до 5 мкм) из материалов с различными физическими свойствами, в том числе вязких и пластичных, с соответствующей настройкой режимных параметров процесса измельчения.

Повышение производительности газоструйного измельчения при повышении температуры энергоносителя объясняется тем, что в процессе измельчения и многократной циркуляции частиц в узлах разгона, классификации и пневмотранспорта они испытывают термоциклические воздействия энергоносителя. При этом за счет смены деформации сжатия и растяжения увеличивается зона разупрочнения гетерогенного материала частицы, что облегчает ее измельчение. Немаловажным является также повышение скорости энергоносителя в зоне взаимодействия струй. Оценки показали, что для установки

УСИ-20 подогрев несущего частицы воздуха до 200 °С приводит к увеличению скорости струй в разгонных трубах на ~ 30 %.

При нагревании материалов, содержащих различные минералы с различными реакциями на температурное воздействие, химическими реакциями, модификационными превращениями и др., изменяются результирующие физико-химические свойства готового продукта измельчения и, как следствие, изменяются показатели их последующего технологического передела.

Исследования влияния температуры энергоносителя на характеристики измельченного продукта (мел, карбид бора, шамот) показали, что подогрев энергоносителя приводит к уменьшению крупности измельченного готового продукта.

Исследования влияния режимных параметров измельчителя на его производительность показали, что уменьшение частоты вращения ротора классификатора и исходной крупности измельчаемого материала увеличивает производительность.

Экспериментальные исследования акустических характеристик процесса газоструйного измельчения показали, что акустическая активность измельчителя имеет существенную корреляционную связь с режимными параметрами процесса: производительностью измельчителя, температурой и давлением энергоносителя.

Разработанная методика акустического мониторинга процесса измельчения основана на регистрации: количества и амплитуды акустических сигналов (АС), распределения амплитуды АС по величине, распределения числа АС по амплитуде, величины (A_r) «резонансной» амплитуды (принято новое определение показателя процесса газоструйного измельчения), фиксируемой на «резонансной» частоте (ω_r) АС процесса. Было установлено фундаментальное свойство частотной характеристики – ее неизменность для всех режимов процесса измельчения. При нагреве энергоносителя максимальная (A_m) и «резонансная» (A_r) амплитуды регистрируемых АС возрастают, а «резонансная» частота ω_r практически не меняется. Определение указанного «резонансного» показателя может служить фундаментом для управления процессом газоструйного измельчения.

В результате исследований газодинамики инжектора газоструйного измельчителя создана и испытана новая конструкция инжектора на основе схемы сверхзвукового кольцевого сопла тарельчатого типа.

Разработка рекомендаций и нормативных документов. Описанные выше научно-исследовательские работы сопровождалась разработкой методик, инструкций, рекомендаций, правил по созданию, использованию, развитию и модификации экспериментальной базы, по исследованию, разработке и эксплуатации объектов ракетно-космической техники, теплоэнергетических установок и теплотехнического оборудования технологических процессов.

Подавляющее большинство результатов исследований и рекомендаций внедрено в организациях ракетно-космической отрасли (в частности, в ГП «КБ «Южное», ПО «Южмаш», Павлоградском механическом заводе, Павлоградском химическом заводе, Испытательно-сертификационном центре «Югтест», Государственном научно-инженерном центре сертификации космической техники и др.), а также на предприятиях других отраслей (в частности, Карагандинской ТЭС, Алмаатинской ТЭС, УкрНИИ азотной промышленно-

сти, ОАО «Азот», ОАО «Баглейкокс», ОАО «Гордорремстрой», НПП «Теплоэнергомаш», НПП «Галактика», ЗАО «Новгород-Северский завод строительных материалов» и др.).

Накопленный опыт по научно-техническим исследованиям, разработкам и научному сопровождению работ по созданию объектов ракетно-космической техники был основанием для выполнения задания НКАУ по разработке Правил космической деятельности в Украине (Правил) в части разработки, производства и эксплуатации объектов ракетно-космической техники [104].

Большая работа выполнена отделом по участию в разработке и согласовании Правил: УРКТ-02.01 – Организация, выполнение и обеспечение космических запусков и полетов; УРКТ-03.01 – Надзор и контроль за безопасностью космических запусков и полетов и эксплуатации космической техники; УРКТ-04.01 – Транспортирование, охрана и хранение ракетно-космической техники; УРКТ-05.01 – Проведение служебного расследования инцидентов и чрезвычайных происшествий с ракетами-носителями и космическими аппаратами; УРКТ-06.01 – Проведение поисковых и аварийно-спасательных работ в космической отрасли; УРКТ-07.01 – Создание и использование научной аппаратуры для космических исследований.

Сопровождение использования Правил выполняется отделом до настоящего времени.

1. Достигнутый уровень и некоторые направления создания ракетных двигателей / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, А. Е. Золотко, Г. Н. Коваленко* // *Техническая механика*. – 2005. – № 2. – С. 38 – 49.
2. *Коваленко Н. Д.* Некоторые тенденции развития двигателестроения в ракетно-космической технике / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников* // *Материалы XII международного конгресса двигателестроителей : Авиационно-космическая техника*. – Харьков : ХАИ, 2007. – № 7 (43). – С. 67 – 71.
3. *Коваленко Н. Д.* Газодинамическое управление сверхзвуковыми газовыми потоками в реактивных соплах / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников* // *IV Украинско-Российско-Китайский симпозиум по космической науке и технике : материалы конференции*. – Киев : НКАУ, 1998. – Т. 2. – С. 27 – 35.
4. *Коваленко Н. Д.* Газодинамика сверхзвуковых укороченных сопел / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников* // *IV Украинско-Российско-Китайский симпозиум по космической науке и технике : материалы конференции*. – Киев : НКАУ, 1998. – Т. I. – С. 136 – 144.
5. О перспективных типах двигательных установок для новых космических летательных аппаратов / *Н. Д. Коваленко, А. Г. Головач, Н. А. Гулий, С. В. Тынына* // *Вестник ДНУ. Проблемы высокотемпературной техники*. – 2002. – № 5. – С. 71 – 74.
6. *Коваленко Н. Д.* Ракетный двигатель как исполнительный орган системы управления полетом ракет / *Н. Д. Коваленко*. – Днепропетровск : ИТМ НАНУ и НКАУ, 2003. – 412 с.
7. *Коваленко Н. Д.* Новая схема ЖРД с дожиганием выхлопного газа турбины / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко* // *Материалы XI международного конгресса двигателестроителей : Авиационно-космическая техника*. – Харьков : ХАИ, 2006. – № 10 (36). – С. 39 – 41.
8. *Коваленко Н. Д.* Некоторые принципиальные схемы систем термогазодинамического регулирования вектора тяги жидкостных ракетных двигателей / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко* // *Техническая механика*. – 2003. – № 2. – С. 33 – 40.
9. *Коваленко Н. Д.* Определение боковых сил в ЖРД при впрыске компонента топлива в сверхзвуковую часть сопла по телеметрической информации летных испытаний / *Н. Д. Коваленко, В. Н. Шнякин, О. А. Асюта и др.* // *КТ РВ*. – ГП «КБ «Южное». – 2008. – № 1. – С. 91 – 105.
10. *Коваленко Н. Д.* Некоторые результаты исследований управляемых газовых потоков в соплах ракетных двигателей / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко* // *Техническая механика*. – 2004. – № 1. – С. 66 – 75.
11. *Коваленко Г. Н.* О влиянии размерности и степени расширения сопла ЖРД на полноту выделения энергии впрыскиваемой управляющей жидкости и создаваемые боковые силы / *Г. Н. Коваленко* // *Техническая механика*. – 2007. – № 2. – С. 62 – 67.
12. *Коваленко Н. Д.* Влияние термогазодинамических параметров впрыскиваемой жидкости и свехзвукового потока на скорость и полноту выделения энергии при создании управляющих сил на обтекаемой поверхности / *Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко* // *Техническая механика*. – 2007. – № 1. – С. 99 – 109.

13. Коваленко Н. Д. Взаимодействие сверхзвукового потока в сопле Лаваля с цилиндрическим препятствием на стенке и инжектируемым через него газом / Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко // *Техническая механика*. – 2002. – № 2. – С. 71 – 78.
14. К расчету динамических характеристик импульсного впрыскивающего устройства с выдвижной форсункой / А. И. Астапов, А. Г. Галушко, Н. А. Гулий, Н. Д. Коваленко // *Гидродинамика и теплообмен ЛА*. – Киев : Наук. думка, 1998. – С. 38 – 42.
15. Коваленко Г. Н. О формировании диаграмм управляющих усилий для управления полетом баллистических ракет и ракет-носителей / Г. Н. Коваленко // *Вестник ДНУ. Ракетно-космическая техника*. – 2004. – № 7. – С. 45 – 53.
16. Коваленко Г. Н. Термогазодинамическое регулирование вектора тяги ЖРД при вдуве в сверхзвуковую часть сопла выхлопного газа турбины / Г. Н. Коваленко // *Вестник ДНУ. Проблемы высокотемпературной техники*. – 2005. – № 10. – С. 45 – 60.
17. Коваленко Г. Н. О форме управляющего струйного препятствия в сопле ЖРД с кольцевым вдувом выхлопного турбинного газа / Г. Н. Коваленко // *Техническая механика*. – 2008. – № 1. – С. 108 – 114.
18. Коваленко Г. Н. Течение сверхзвукового потока в сопле камеры ЖРД при наличии источников массы и тепла над обтекаемой поверхностью / Г. Н. Коваленко // *Вестник ДНУ. Ракетно-космическая техника*. – 2007. – № 9/1. – С. 45 – 59.
19. Коваленко Н. Д. Гидродинамика боковых струй, управляющих сверхзвуковым потоком / Н. Д. Коваленко, Н. П. Сироткина // *Вестник ДНУ. Проблемы высокотемпературной техники*. – 2006. – № 11. – С. 40 – 46.
20. Коваленко Н. Д. К вопросу об охлаждении стенки сопла жидкостного ракетного двигателя кольцевым вдувом выхлопного турбинного газа / Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко // *Техническая механика*. – 2004. – № 2. – С. 78 – 86.
21. Коваленко Н. Д. Особенности отработки системы управления вектором тяги высотных ЖРД / Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, А. Д. Игнатьев и др. // *Вестник ДНУ. Ракетно-космическая техника*. – 2008. – № 10/1. – С. 49 – 63.
22. Пат. на изобретение №70261 А Украина, МКИ F23 Н 9/10. ЖРД с регулируемым вектором тяги / Коваленко Н. Д., Стрельников Г. А., Коваленко Г. Н. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9.
23. Пат. на изобретение 71862 Украина, МКИ F23 Н 9/10. Жидкостная ракетная двигательная установка плотной компоновки с регулируемым вектором тяги / Коваленко Н. Д., Стрельников Г. А., Коваленко Г. Н. ; владелец Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
24. Заявка №2006 10599 Україна від 01.10.2006 р., МПК F23 Н 9/10. Спосіб допалювання відпрацьованого генераторного газу турбіни турбонасосного агрегату рідинного ракетного двигуна та устрій з його застосуванням / Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Коваленко Г. М. та інші.
25. Заявка № 2004 0705419 Україна від 6.07.2004 р., МПК F23 Н 9/10. Спосіб регулювання вектора тяги рідинного ракетного двигуна на пристрій для його здійснення / Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Коваленко Г. М.
26. Заявка № 2005 08030 Україна від 15.08.2005 р., МПК F23 Н 9/10. Рідинна ракетна двигунна установка щільного компонування з регулюванням вектора тяги / Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Коваленко Г. М.
27. Заявка № 2006 07625 Україна від 17.07.2006 р., МПК F23 Н 9/10. Рідинний ракетний двигун з регулюванням вектора тяги / Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Коваленко Г. М.
28. Коваленко Н. Д. Моделирование нестационарных тепломассообменных процессов в охлаждаемых трактах камер ЖРД при останове и повторном запуске / Н. Д. Коваленко, С. И. Пономаренко // *Техническая механика*. – 2000. – № 2. – С. 156 – 165.
29. Пономаренко С. И. Оценка вычислительных характеристик метода элементарных балансов для нестационарных задач теплообмена / С. И. Пономаренко, А. В. Хоменко // *Техническая механика*. – 2006. – № 2. – С. 106 – 114.
30. Махина Т. А. О циклическом охлаждении турбины в паузах между включениями ЖРД многократного запуска / Т. А. Махина, Ю. В. Гора, Е. Ю. Гора // *Техническая механика*. – 2005. – № 1. – С. 91 – 99.
31. Коваленко Н. Д. Расчетная методика определения массового расхода двухфазной среды через центробежную форсунку / Н. Д. Коваленко, С. И. Пономаренко, А. В. Хоменко // *Техническая механика*. – 2004. – № 2. – С. 100 – 105.
32. Коваленко Н. Д. Некоторые решения по совершенствованию системы регулирования вектора тяги РДТТ вдувом камерного газа в сверхзвуковую часть сопла / Н. Д. Коваленко, А. Г. Головач, Г. Н. Коваленко // *Техническая механика*. – 2001. – № 1. – С. 64 – 69.
33. Гора Ю. В. Расчет течения в дозвуковой части утолщенного сопла Лаваля / Ю. В. Гора, Т. А. Махина // *Техническая механика*. – 2003. – № 2. – С. 41 – 48.
34. Коваленко Н. Д. Расчетные оценки параметров рабочего процесса ДРДТТ / Н. Д. Коваленко, А. Г. Головач // *Техническая механика*. Сб. науч. трудов ДНУ. – Днепропетровск, 1998. – № 4. – С. 56 – 60.
35. Гулий Н. А. Газореактивная двигательная установка с импульсной подпиткой ресивера / Н. А. Гулий, Н. Д. Коваленко, С. В. Тынына // *Техническая механика*. – 2002. – № 2. – С. 64 – 70.
36. Коваленко Н. Д. Импульсные характеристики регулируемых узлов вдува системы регулирования вектора тяги РДТТ / Н. Д. Коваленко, Н. С. Голубенко, Г. Н. Коваленко // *Техническая механика*. – 2001. – № 2. – С. 150 – 155.

37. Стрельников Г. А. Особенности возмущения давления на стенке сопла ракетного двигателя при поперечном вдуве двух нерадиальных струй / Г. А. Стрельников, Г. Н. Коваленко // Техническая механика. – 2001. – № 2. – С. 166 – 169.
38. Гора Ю. В. Многосеточный вариант метода потоков для решения стационарных задач газовой динамики / Ю. В. Гора, Т. А. Махина // Техническая механика. – 2002. – № 2. – С. 58 – 64.
39. Кузьменко Н. П. К вопросу о проектировании фланцевых соединений РДТТ с последующей возможностью их технологической утилизации / Н. П. Кузьменко // Техническая механика. – 2006. – № 2. – С. 135 – 139.
40. Коваленко Н. Д. Статистическая модель проектирования фланцевых соединений в РДТТ / Н. Д. Коваленко, В. С. Козин, Н. П. Кузьменко // Техническая механика. – 2007. – № 2. – С. 47 – 56.
41. Кузьменко Н. П. Влияние жесткости фланцевых соединений на их работоспособность / Н. П. Кузьменко // Человек и космос : VII Международная научно-практическая конференция, апрель 2005 г. : – Днепропетровск, 2005. – С. 156 – 159.
42. Кузьменко Н. П. Методология и результаты поиска усовершенствования конструкций фланцевых соединений РДТТ / Н. П. Кузьменко // Вестник ДНУ. Проблемы высокотемпературной техники. – 2004. – № 8. – С. 65 – 70.
43. Кузьменко Н. П. О проектировании фланцевых соединений в сосудах высокого давления из композиционного материала / Н. П. Кузьменко, Г. В. Рябов, А. Т. Скачко // Техническая механика. – 2008. – № 1. – С. 140 – 145.
44. Кузьменко Н. П. Зависимость коэффициента массового совершенства РДТТ от конструкции фланцевых соединений / Н. П. Кузьменко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2007. – № 1. – С. 103 – 112.
45. Кузьменко Н. П. Выбор конфигурации конструкции фланцевых соединений с учетом их нагружения в РДТТ / Н. П. Кузьменко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2007. – № 1. – С. 98 – 102.
46. Заявка №2006 1168 Україна від 06.11.2006 р., МПК F23 Н 9/10. Ракетна двигунна установка з корпусом із композиційного матеріалу / Коваленко М. Д., Кузьменко М. П., Золотко О. Є.
47. Заявка №2007 12226 Україна від 05.11.2007 р., МПК F23 Н 9/10. Посудина високого тиску з текучим середовищем / Коваленко М. Д., Кузьменко М. П.
48. Козин В. С. Оценка возможности контроля процесса разгара канала заряда РДТТ с использованием результатов радиометрических измерений / В. С. Козин, В. В. Тимошенко // Техническая механика. – 2004. – № 2. – С. 86 – 94.
49. Козин В. С. Анализ результатов испытаний летательного аппарата Х-43А / В. С. Козин // Техническая механика. – 2007. – № 2. – С. 56 – 62.
50. Козин В. С. Изменение направления воздушного потока за плоскостью вращения ветроколеса / В. С. Козин // КТ РВ. – ГП «КБ «Южное». – 2000. – Вып. 2. – С. 96 – 102.
51. Импульсный двигатель для увода микроспутника с рабочей орбиты / Н. Д. Коваленко, А. Е. Золотко, С. В. Тынына, Д. Е. Золотко // Вестник ДНУ. Проблемы высокотемпературной техники. – 2004. – № 8. – С. 61 – 64.
52. Кириченко А. О. Разработка и экспериментальное опробование импульсного двигателя для управления полетом летательного аппарата / А. О. Кириченко // Людина та космос : Международная научно-практическая конференция : тезисы докладов. – Днепропетровск, 2008. – С. 140 – 141.
53. Экспериментальное исследование течения газа в плоской модели глушителя звука выстрела стрелкового оружия с применением методов визуализации / Н. А. Коновалов, А. И. Астапов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, Г. А. Стрельников, С. В. Тынына, А. Д. Чаплиц // Техническая механика. – 2002. – № 1. – С. 126 – 132.
54. Пат. на винахід 31490А Україна, МПК F41А 17. Прилад зниження рівня звуку пострілу стрілецької зброї / Коновалов М. А., Астапов А. І., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик О. Д., Стрельников Г. О., Тынына С. В., Чаплиц О. Д. : власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – № u 2007 13945 ; заявл. 12.12.2007, опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
55. Подовая решетка для сжигания угля в псевдооживленном слое / Н. Д. Коваленко, С. В. Борисенко, Н. С. Прядко, А. Н. Кулаков, Л. П. Малый, Г. И. Быковченко // Системные технологии. – 2001. – № 6(17). – С. 77 – 81.
56. Пат. на винахід 18024А Україна, МПК F23 Н 9/10. Подова решітка топки / Борисенко С. В., Малый Л. П., Северин С. С., Быковченко Г. І., Коваленко М. Д., Кулаков А. М. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – заявл. 17.06.1996 ; опубл. 17.06.1997, Бюл. № 3.
57. Пат. на винахід 58077А Україна, МПК F23 Н 9/10. Спосіб спалювання палива у фонтануючому проширці / Коваленко М. Д., Прядко Н. С. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – заявл. 17.09.2002 ; опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.
58. Пат. на винахід 58078А Україна, МПК F23 Н 9/10. Подова решітка / Коваленко М. Д., Прядко Н. С. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – заявл. 17.09.2002 ; опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.
59. Экспериментальные исследования характеристик топки для сжигания твердого топлива в фонтанирующем слое / Н. Д. Коваленко, С. В. Борисенко, Н. С. Прядко, А. Н. Кулаков, Л. П. Малый, Г. И. Быковченко, Л. И. Звонов // Вестник НГУ. – Днепропетровск. – 2002. – № 1. – С. 103 – 108.
60. Прядко Н. С. Методика определения параметров подовой решетки и псевдооживленного слоя над ней / Н. С. Прядко // Системные технологии. – 2002. – № 1(18). – С. 26 – 31.

61. *Прядко Н. С.* Методика расчета параметров системы «псевдоожженный слой плюс решетка» / *Н. С. Прядко* // *Техническая механика*. – 2002. – № 2. – С. 116 – 120.
62. *Пожидаев В. Ф.* Математическое моделирование процесса сжигания угля в поточном кипящем слое / *В. Ф. Пожидаев, Н. С. Прядко, А. А. Ветров* // *Системные технологии*. – 2004. – № 1(30). – С. 41 – 46.
63. *Прядко Н. С.* Создание поточного кипящего слоя для сжигания низкосортного угля / *Н. С. Прядко* // *Математичні проблеми технічної механіки : матеріали III Всеукраїнської наукової конференції, июнь 2003 г., Днепродзержинск* : – Днепродзержинск: ДТУ, 2003. – С. 54.
64. *Прядко Н. С.* Создание экологически чистой технологии сжигания низкосортного угля / *Н. С. Прядко* // *Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, октябрь 2005 г., Днепропетровск – Днепропетровск : Екологія і природокористування, 2005. – С. 27.*
65. *Коваленко Н. Д.* Экспериментальные исследования моделей циклона шнекового типа / *Н. Д. Коваленко, А. Н. Кулаков, Н. С. Прядко* // *Техническая механика*. – 2002. – № 1. – С. 126 – 132.
66. *Прядко Н. С.* Исследование параметров потока в осевых шнековых завихрителях / *Н. С. Прядко* // *Вестн. ДонНУ*. – 2002. – Т. 2, № 2. – С. 205 – 210.
67. Новые технологии при сжигании низкосортного угля в кипящем поточном слое / *Н. Д. Коваленко, С. В. Борисенко, Н. С. Прядко, Л. П. Малый, Г. И. Быковченко* // *Техническая механика*. – 2004. – № 1. – С. 150 – 154.
68. *Коваленко Н. Д.* Сжигание твердого топлива в псевдоожженном слое / *Н. Д. Коваленко, Н. С. Прядко* // *Безопасность жизнедеятельности в XXI веке : материалы второго Международного симпозиума. – Днепропетровск : Технополис, 2002. – С. 57 – 58.*
69. *Головач А. Г.* Тепловые аппараты пульсирующего горения жидкого и твердого топлива / *А. Г. Головач, Н. Д. Коваленко, М. Т. Гупало* // *Техническая механика*. – 1998. – № 6. – С. 162 – 167.
70. Пат. на изобретение 2100698 Россия, МКИ F23C 11/04. Способ сжигания топлива и устройства для его осуществления / *Головач А. Г., Коваленко Н. Д., Гупало М. Т.* ; владелец Институт технической механики НАНУ и НКАУ. – опубл. 27.12.1998, Бюл. № 36.
71. Пат. на винахід 13848 Україна, МПК F23C 11/04. Спосіб спалювання палива та пристрої для його здійснення / *Головач А. Г., Коваленко М. Д., Гупало М. Т.* ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – опубл. 30.08.1999, Бюл. № 5.
72. Пат. на изобретение 27472 Украина, МКИ F23 Н 9/10. Печь / *Коваленко Н. Д., Грушко В. А., Головач А. Г., Гупало М. Т.* ; владелец Институт технической механики НАНУ и НКАУ. – опубл. 15.09.2000, Бюл. № 4.
73. Пат. на изобретение 27528 Украина, МКИ F23 Н 9/10. Топка для сжигания кускового твердого топлива / *Коваленко Н. Д., Головач А. Г., Гупало М. Т.* ; владелец Институт технической механики НАНУ и НКАУ. – опубл. 15.09.2000, Бюл. № 4.
74. *Головач А. Г.* Неизотропическое течение в ударной волне / *А. Г. Головач, Н. Д. Коваленко* // *Импульсные процессы в механике сплошных сред : 2-я научная школа, сентябрь 1998 г., Николаев* : тез. докл. – С. 132.
75. *Головач А. Г.* Теория экспериментальных газовых процессов / *А. Г. Головач*. – Тернополь : Підручники-посібники, 2003. – 144 с.
76. *Головач А. Г.* Метод исследования экспериментальных газовых процессов / *А. Г. Головач* // *Техническая механика*. – 2002. – № 1. – С. 61 – 64.
77. *Прядко Н. С.* Теоретическое обоснование энергосберегающих режимов обработки полезных ископаемых / *Н. С. Прядко, Л. Ж. Горобец и др.* // *Наука и технологии: шаг в будущее – 2006 : Материалы первой Международной научно-практической конференции, март 2006 г., Днепропетровск. – Белгород : Руснаучкнига, 2008. – С. 6 – 9.*
78. *Прядко Н. С.* Новые подходы к решению проблемы обработки и переработки полезных ископаемых / *Н. С. Прядко, Л. Ж. Горобец и др.* // *Форум гірників 2006 : Материалы международной конференции, октябрь, 2006 г., Днепропетровск* : сб. тезисов. – Днепропетровск, 2006. – С. 105 – 109.
79. *Пилов П. И.* Энергосберегающие и экологически чистые технологии переработки угля / *П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, В. В. Гаевой* // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – Харьков. – 2006. – № 30. – С. 22 – 28.
80. Механоактивация при измельчении полезных ископаемых / *П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, В. В. Гаевой, И. А. Шуляк* // *Вестник Криворожского технического университета*. – 2007. – № 16. – С. 59 – 64.
81. Влияние измельчения минерального сырья в нагретых струях на показатели его обогащения / *П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, В. В. Гаевой, И. А. Шуляк, Б. Ф. Бевзенко* // *VI конгресс обогатителей стран СНГ, март, 2007 г., Москва* : сб. материалов. – Москва, 2007. – С. 182 – 184.
82. *Горобец Л. Ж.* Струйная технология измельчения металлургических шлаков / *Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, Г. А. Стрельников и др.* // *Материалы международного научно-практического семинара памяти Олевского В.А. – Ставрополь, 2008. – С. 34 – 46.*
83. *Прядко Н. С.* Экологические аспекты новых технологий использования и переработки минерального сырья / *Н. С. Прядко, Л. Ж. Горобец и др.* // *Дни науки-2006 : материалы второй Международной научно-практической конференции, апрель, 2006 г., Днепропетровск* : – Днепропетровск: Наука і освіта, 2006. – Т. 10, *Технічні науки*. – С. 27 – 29.
84. *Коваленко Н. Д.* Опыт эксплуатации экспериментальной газоструйной мельницы при получении тонкодисперсных порошков различного минерального сырья / *Н. Д. Коваленко, Г.А. Стрельников и др.* // *V Конгресс обогатителей стран СНГ, март, 2005 г., Киев* : сб. материалов. – Киев, 2005. – Т. 2. – С. 113, 114.

85. Горобец Л. Ж. Обоснования конструктивной схемы и расчетных параметров / Л. Ж. Горобец, А. Г. Головач, А. Г. Ежов // Збагачення корисних копалин. – 1999. – № 5. – С. 64 – 71.
86. Бовенко В. Н. О физических критериях разрушения и диспергирования / В. Н. Бовенко., Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2007. – № 26. – С. 148 – 153.
87. Прядко Н. С. Застосування акустоемісійного монітору щодо струменевого подрібнення / Н. С. Прядко, Л. Ж. Горобец // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львов. – 2006. – № 40. – С. 69 – 74.
88. Горобец Л. Ж. Исследование связи акустических и технологических параметров процесса струйного измельчения / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко. И. А. Шуляк, И. В. Верхоробина // XIV международная конференция, август, 2006 г., Одесса : сб. материалов. – Одесса. – С. 16 – 21.
89. Параметры акустического излучения промышленной газоструйной установки / П. И. Пилов, В. Н. Бовенко, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, И. В. Верхоробина, А. Е. Щербаков // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2007. – № 27. – С. 33 – 41.
90. Пилов П. И. Выбор критической плотности энергии при тонком измельчении / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, В. Н. Бовенко, Н. С. Прядко // Обогащение руд. – 2007. – № 5. – С. 120 – 123.
91. Коваленко Н. Д. О возможности повышения надежности разгонных сопел эжектора помольной камеры противоточной струйной мельницы / Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, С. В. Тынына, А. И. Астапов // V Конгресс обогатителей стран СНГ, март, 2005 г., Киев : сб. материалов. – Киев, 2005. – Т. 2. – С. 114, 115.
92. Ежов А. Г. Новая компоновка гравитационного классификатора при струйном измельчении / А. Г. Ежов, Л. Ж. Горобец // Збагачення корисних копалин: научно-технический сб. – 2005. – № 4. – С. 33 – 41.
93. Чаплиц А. Д. Визуализация сыпучего материала при истечении из инжектора на базе тарельчатого сопла / А. Д. Чаплиц // Техническая механика. – 2002. – № 1. – С. 87 – 91.
94. Чаплиц А. Д. Визуализация процесса смешения при исследовании плоской модели инжекторов струйного измельчения / А. Д. Чаплиц, А. И. Астапов // Техническая механика. – 2002. – № 2. – С. 112 – 115.
95. Выбор критической плотности энергии при тонком измельчении / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, В. Н. Бовенко, Г. А. Стрельников, Н. С. Прядко и др. // Применение дисперсных и ультра-дисперсных порошковых систем в промышленных технологиях : научно-техническая конференция, июль, 2008 г., Санкт-Петербург : сб. материалов. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 99 – 112.
96. Пилов П. И. Мониторинг изменений технологических и режимных параметров в процессе струйного измельчения строительных материалов / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко и др. // Применение дисперсных и ультра-дисперсных порошковых систем в промышленных технологиях : научно-техническая конференция, июль, 2008 г., Санкт-Петербург : сб. материалов. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 112 – 127.
97. Пат. на винахід UA 50750 Україна, МПК F23 Н 9/10. Газоструминний млин / Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Головач А. Г. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – опубл. 15.11.2002, Бюл. № 11.
98. Пат. на винахід № 60735 А Україна, МПК F23 Н 9/10. Газоструминний млин / Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Горобець Л. Ж., Головач А. Г., Ежов А. Г., Звонов Л. І. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ ; – опубл. 15.11.2003, Бюл. № 10.
99. Пат. на винахід UA 7001 Україна, МПК F23 Н 9/10. Спосіб подрібнення рудних матеріалів у зустрічних газодинамічних потоках при термічній обробці / Пілов П. І., Москальов А. М, Коваленко М. Д., Стрельников Г. О., Горобець Л. Ж., Чаплиць О. Д., Астапов А. І. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ ; – опубл. 12.10.2004, Бюл. № 6.
100. Пат. на винахід UA 74166 Україна, МПК F23 Н 9/10. Спосіб підігріву робочого стиснутого газу у газоструминному млині і газоструминний млин / Чаплиць О. Д., Астапов А. І., Горобець Л. Ж. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ ; – опубл. 2005, Бюл. № 11.
101. Пат. на винахід 76495 Україна, МПК F23 Н 9/10. Спосіб подрібнення рудних матеріалів у зустрічних газодинамічних потоках при термічній обробці і пристрій для його застосування / Пілов П. І., Коваленко М. Д. та ін. ; власник Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ ; – опубл. 11.10.2006, Бюл. № 8.
102. Прядко Н.С. Стохастическая модель газодинамического измельчения // Техническая механика. – 2008. – № 1. – С. 124 – 131.
103. Пилов П. И. An acoustic monitoring of the sizes changes of grinded particles / П. И. Пилов, В. Н. Бовенко, Л. Ж. Горобець, Н. С. Прядко // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 6. – С. 23 – 26.
104. УРКТ-01.01. Правила космічної діяльності в Україні. Розробка, виготовлення та експлуатація ракетно-космічної техніки.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск

Получено 12.09.08,
в окончательном варианте 24.09.08