

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ



Институт тепло- и массообмена  
имени А.В. Лыкова

АКТУАЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ,  
ИССЛЕДОВАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ  
И ИСПЫТАНИЯ

# КАТАЛОГ

Научно-информационное издание

г. Минск



## ОБ ИНСТИТУТЕ



Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси образован на основании распоряжения Совета Министров СССР от 29 июля 1952 г. № 19207-р как Институт энергетики АН БССР. В 1963 г. переименован в Институт тепло- и массообмена. В 1975 г. Институту присвоено имя основателя белорусской школы теплофизики академика Алексея Васильевича Лыкова.

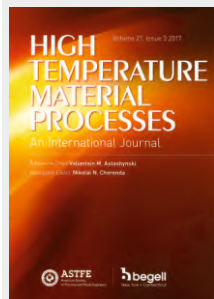
С 2001 г. – государственное научное учреждение с современным названием, крупнейшая в республике научная организация, специализирующаяся на решении фундаментальных и прикладных проблем тепломаассопереноса, гидрогазодинамики, энергетики, теплотехники, химической физики, физики горения и взрыва, нанотехнологий, создании энергоэффективных и экологически безопасных технологий и техники, аппаратов и приборов для энергетики, машиностроения, агропромышленного комплекса, медицины, стройиндустрии, химической, космической, электронной, радиотехнической отраслей.

В структуру Института входят: Научный центр теплофизики, Международный центр физики плазмы и плазменных технологий, Международный центр физики и химии неравновесных сред, Научный центр биоманнитных систем, Научный центр нанодиагностики и сканирующих зондовых технологий.

Характерной чертой деятельности Института является междисциплинарный подход к решению поставленных задач, основанный на богатстве научных идей и методов работы, разноплановом кадровом составе. Более 200 человек занимаются научными исследованиями и разработками, среди них около 90 докторов и кандидатов наук.

Институт выпускает основанный в 1958 г. А.В. Лыковым «Инженерно-физический журнал», переиздаваемый издательством Springer как «Journal of Engineering Physics and Thermophysics».





Директор Института, академик НАН Беларуси, доктор физико-математических наук О.Г. Пенязьков является главным редактором журнала «Heat Transfer Research»; член-корреспондент НАН Беларуси, доктор физико-математических наук В.М. Асташинский – главным редактором журнала «High Temperature Material Processes», издаваемых в США.

Сотрудники Института выступают рецензентами рейтинговых научных журналов «Int. Journal of Heat and Mass Transfer», «Energy and Fuel», «Combustion and Flame», «Shock Waves» и др. Ежегодно издается сборник научных трудов института «Тепло- и массоперенос».

Национальная академия наук Беларуси один раз в два года присуждает премии имени академика А.В. Лыкова за крупный вклад в развитие исследований, составляющих основу новых высокоэффективных технологий и оборудования в области теплофизики и энергетики.

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси является организатором крупных научно-практических мероприятий:

- один раз в четыре года проводится Минский международный форум по тепло- и массообмену
- один раз в три года – Минский международный семинар «Тепловые трубы, тепловые насосы, холодильники, источники энергии»
- один раз в два года – Минский международный коллоквиум по физике ударных волн, горения и детонации
- один раз в два года – Международная конференция по сканирующей зондовой микроскопии
- один раз в два года – Международная конференция «Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах»

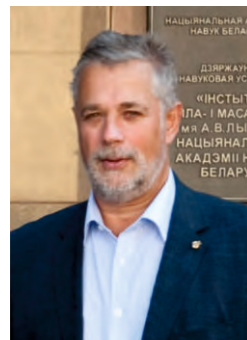
Институт аккредитован в качестве научной организации в Государственном комитете по науке и технологиям Республики Беларусь и Национальной академии наук Беларуси.

В Институте с 2013 года функционирует сертифицированная система менеджмента качества (СМК) проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. В 2018 году осуществлен переход СМК Института на соответствие требованиям новой версии СТБ ISO 9001-2015, что подтверждено сертификатом соответствия № ВУ/112 05.01. 049 08354.

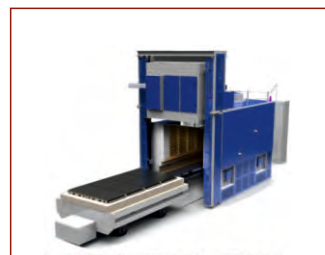
## УЧЕНЫЕ ПРЕДЛАГАЮТ АКТУАЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ, ИССЛЕДОВАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ

**Пенязьков Олег Глебович, директор Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, академик, доктор физико-математических наук**

Основой для ряда научно-исследовательских направлений в годы становления Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси было приложение теории тепло- и массообмена к объектам энергетики. В настоящее время исследования по оптимизации процессов термообработки материалов – древесины, зерна, пищевых продуктов – продолжают выполняться на новом технологическом уровне. Разработано котельное оборудование с топками кипящего слоя для эффективного сжигания местных видов топлива. Выполнены работы по оптимизации охлаждающей способности башенных градирен тепловых станций. Создается печное оборудование для высокотемпературной обработки металлов. Эти работы доведены



до широкомасштабного внедрения на предприятиях республики и других стран. Так, разработки Института позволили модернизировать печное оборудование для ЗАО «Атлант», Минский завод имени Октябрьской Революции, ОАО «Минский завод «Калибр», ОАО «Гидромаш» и выполнить поставки по зарубежным заказам.



Для терморегулирования режимов работы элементов энергетических установок, космических аппаратов, полупроводниковых устройств (например, светодиодных светильников) разработаны тепловые трубы различных конфигураций, в том числе гравитационно-независимые. В системах терморегулирования реализованы собственные идеи по организации внутреннего пространства тепловых труб, технологии очистки, заправки, контроля, испытаний, что обеспечило их безотказную непрерывную работу и применение в космических аппаратах «Интеркосмос-15», «Мир», «Салют», «БелКА», скафандрах, изделиях ведущих производителей электронной техники. Востребованными на рынке являются разрабатываемые в Институте высоковольтные источники питания, демпфирующие

устройства с магнито- и электроуправляемыми реологическими жидкостями, технологии получения высокочистого водорода из борогидридов щелочных металлов, способы электрохимической обработки материалов, позволяющие создавать уникальные изделия.

Ученые работают над созданием технологий синтеза наноструктурных материалов и композитов. Разработаны уникальные подходы и оборудование для получения ультрадисперсных порошков карбидов и нитридов различных металлов в электротермическом кипящем слое, оксидов металлов методом низкотемпературного пиролиза, углеродных и металлических наноматериалов различного назначения. Создан ряд конструкций реактора для производства наночастиц методом распылительного пиролиза микронных капель.



Новым этапом в развитии Института стала разработка передовой технологии изготовления ультраоблегченных оптических зеркал на основе карбида кремния, предназначенных для использования в космических зеркальных телескопах. Технология включает в себя более 20 сложных операций. В результате получена карбидокремниевая керамика с уникальным для оптических приложений сочетанием свойств, разработаны методики облегчения подложек, позволившие достигнуть удельных массогабаритных параметров зеркал, сопоставимых с лучшими мировыми аналогами.

Для высокоточной обработки оптических поверхностей мировыми лидерами оптического приборостроения используется метод магнитореологического полирования, зародившийся в Институте еще в 80-е годы. Созданы оборудование и технологии для финишной высокоточной обработки прецизионных оптических изделий различной формы размером от 3 миллиметров до 2 метров, в том числе изделий аэрокосмической оптики. Метод обеспечивает на ряде материалов шероховатость поверхности менее одного нанометра. Ведутся работы по созданию роботизированных комплексов для серийной обработки малоразмерных изделий, созданию опытного участка по прецизионной обработке оптических изделий.

Развитие плазменных технологий в Институте в 60-е годы было мотивировано необходимостью обеспечения теплозащиты космических аппаратов. Создан уникальный торцевой холловский ускоритель, генерирующий потоки плазмы для моделирования условий входа космических аппаратов в атмосферу планет. В его вакуумной камере можно воссоздать атмосферные условия любой из планет Солнечной системы, что позволяет проводить испытания материалов для аэрокосмической отрасли в условиях, имитирующих космические. Для этих же целей используются и более компактные установки - плазмотроны. Мощность генерируемых ими плазменных потоков достигает 2 МВт. С помощью этих установок испытаны теплозащитные покрытия легендарных космических аппаратов — Буран, Фобос-Грунт, ЭкзоМарс.

Испытания противометеоритной защиты космических аппаратов проводятся на созданной в Институте и не имеющей аналогов в странах СНГ баллистической установке, обеспечивающей скорость метабома тела до 5 км/с. Плазмотроны собственной разработки используются в оборудовании для экологически чистой переработки отходов.

Компрессионные плазменные ускорители — еще одна уникальная разработка Института, позволяющая осуществлять генерацию высокоэнергетических и долгоживущих плазменных образований, моделирующих в лаборатории условия термоядерного синтеза. Развиваются методы поверхностной плазменной металлургии для получения в обрабатываемом металле или сплаве высокопрочных слоев. С помощью низкотемпературной плазмы модифицируются пленочные материалы для



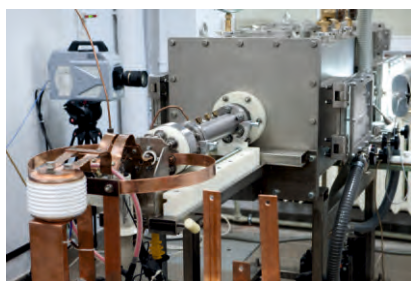


придания им особых поверхностных свойств.

Исследование процессов горения и детонации в газах (ударные трубы, установка быстрого сжатия) — путь к решению многих практических задач, которые сегодня стоят перед Институтом, таких как оптимизация режимов воспламенения и сгорания топлив, разработка двигателей на новых принципах организации горения, оптимизация работы и снижение вредных выбросов традиционных двигателей внутреннего сгорания, являющихся сегодня одной из главных причин загрязнения воздуха.

Большинство проводимых в Институте исследований сопровождаются построением физических и математических моделей, позволяющих прогнозировать развитие изучаемых процессов и явлений. При этом используется набор инструментов в виде профильного программного обеспечения теплофизического, газодинамического и химического направлений и многопроцессорные ЭВМ. Высокопроизводительный вычислительный кластер позволяет проводить компьютерное моделирование различных научно-прикладных проблем – от обтекания транспортных средств воздушными потоками до высокоскоростного вхождения тел в атмосферу Земли. Решаются задачи, связанные с

автоматизацией обработки и анализа информации, созданием распределенных автоматизированных систем, умных энергетических сетей.



Экспериментальные исследования обеспечиваются многочисленными стендами и комплексами диагностического оборудования, в том числе для исследования течений жидкостей и газов, состава и микроструктуры материалов, теплофизических и механических свойств.

В арсенале ученых как приборы и оборудование ведущих мировых производителей, так и приборы собственной разработки: атомно-силовые микроскопы, в том числе для изучения биологических объектов, измерители температуры в СВЧ-полях для диагностики быстропотекающих процессов, бесконтактного исследования тепловых полей объектов на основе собственного инфракрасного излучения.

Оснащенность испытательным оборудованием и средствами измерения, наличие квалифицированных сотрудников, получивших сертификаты компетентности по тепловым методам контроля, имеющих большой опыт работы в области тепловизионной диагностики, наличие фонда актуализированных технических нормативных правовых актов позволили лаборатории радиационно-конвективного теплообмена получить государственную аккредитацию на проведение тепловой диагностики зданий и сооружений.



Ряд лабораторий выполняют на договорной основе измерения теплофизических свойств материалов, в условиях широкого

изменения их состава и внешних воздействий (температуры, термоциклирования, высокочастотных потоков энергии).

Каталог включает инновационные технологические предложения, базирующиеся на результатах исследований и разработок, выполненных в рамках основных направлений научно-технической деятельности лабораторий и отделов Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси.



Инновационные предложения относятся к широкому спектру предметных областей: термомодификация и синтез материалов, системы терморегулирования на основе тепловых труб и паровых камер, технологии с использованием электро- и магнитореологических сред, испытания в области физико-химической гидродинамики на уникальных экспериментальных стендах, плазменные технологии, приборы и оборудования для измерения теплофизических свойств материалов, программы и результаты математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена.

Экспериментальная база Института обеспечивает передачу опыта новым поколениям ученых, традиций, собственного научно-культурного кода — и движение вперед.

Информация по каждой из разработок содержит аннотацию, характеризующую область применения и назначение технологии; описание технологии, методик измерения и испытания свойств материалов; сведения о патентах, контактную информацию.

Предложения по проведению совместных измерений и испытаний содержат перечни наименований измеряемых величин, диапазоны измерений, параметры испытательных режимов. Указываются степень готовности разработки, других форм инновационных предложений для выполнения совместных проектов. Сформулированы условия сотрудничества, а также сведения о поддержке, предоставляемой Институтом при выполнении совместных работ или передаче технологии.



Каталог адресован организациям и предприятиям-заказчикам научных работ, инвесторам, исследователям и инженерам, специализирующимся в области теплофизики и энергетики, а также молодым ученым – аспирантам, магистрантам, студентам, избирающим свои пути в науке, при выполнении диссертационных, магистерских, дипломных исследований.

**Мы готовы предложить наше сотрудничество всем заинтересованным!**

# ТЕХНОЛОГИЯ И РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭНЕРГОПОДВОДОМ ДЛЯ СУШКИ И МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

Распылительная сушка является перспективной технологией получения порошкообразных материалов из растворов и суспензий. К преимуществам технологии относятся высокое качество материалов вследствие кратковременности теплового воздействия, возможность получения быстрорастворимых, тонкодисперсных и гранулированных материалов, высокая производительность и возможность автоматизации процесса. Достоинством технологии является снижение расхода энергии и уменьшение габаритов. На основе многолетних исследований в Институте разработаны новые способы, технологии и оборудование активных термогидродинамических режимов в распылительных аппаратах.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Сущность предлагаемого способа состоит в комбинированном энерговоздействии на капли распыляемой жидкости конвекцией и инфракрасным излучением, направляемым на область факела с наибольшей концентрацией частиц. Теплоноситель подается в камеру через газораспределительное устройство, выполненное в виде перфорированных решеток. Струйное истечение теплоносителя, воздействуя на факел распыла, создает интенсивный конвективный теплообмен. Высокая плотность инфракрасного теплового потока в области факела достигается за счет расположения излучателей под углом к вертикальной оси. Для диспергирования жидкостей используются двух- и трехканальные пневматические форсунки, позволяющие вводить в факел распыла дисперсный материал (наполнитель). Преимуществами способа являются уменьшение удельного расхода теплоты на процесс, повышение производительности, КПД установки и влагонапряженности объема камеры.

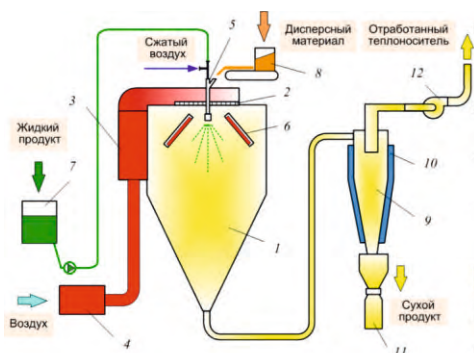
## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Способ распылительной сушки с комбинированным подводом теплоты при температурах теплоносителя на входе в камеру 110–150 °С позволяет на 37% снизить удельный расход теплоты на испарение влаги и увеличить КПД установки, в 2–3 раза повысить влагонапряженность объема камеры и производительность по испаренной влаге. Расширяются возможности получения порошкообразных материалов с заданными свойствами, однородных композиционных продуктов с введением различного рода дисперсных наполнителей, микрогранулированных продуктов, модификации материалов путем введения различных компонентов, в том числе углеродных наноматериалов; повышается управляемость процессом.

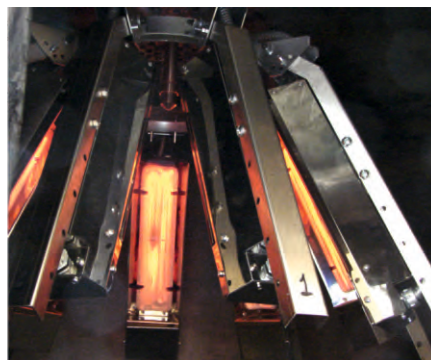
## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Создана экспериментальная распылительная установка с комбинированным конвективно-радиационным подводом теплоты. Производительность установки 5–15 кг/ч по испаренной влаге; максимальная мощность инфракрасных излучателей 9 кВт; максимальная температура теплоносителя на входе в камеру 200 °С; диаметр камеры 1,2 м. Номинальная мощность одного излучателя 1 кВт.

Проведены экспериментальные исследования и сравнительная оценка с конвективным способом. Определены параметры установки для различных режимов: только конвективного подвода теплоты; комбинированного подвода теплоты конвекцией и ИК-излучением при работе 3, 6 и 9 излучателей.



а)



б)

а) Схема экспериментальной распылительной установки с подводом теплоты конвекцией и инфракрасным излучением:

1 – распылительная камера; 2 – газораспределительное устройство; 3, 4 – калориферы; 5 – форсунка; 6 – ИК-излучатели; 7 – емкость; 8 – дозатор; 9 – циклон; 10 – охлаждающая рубашка; 11 – бункер; 12 – вентилятор.

б) Общий вид инфракрасного устройства.

Установлено, что с увеличением инфракрасного теплового потока при прочих равных условиях эффективность процесса сушки возрастает.

Конвективные распылительные установки производительностью 25 кг/ч по испаренной влаге нашли промышленное применение для сушки суспензии полиалюмината натрия, экстракта кормовых дрожжей, фермента — амелазы. Имеется конструкторская документация.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ на полезную модель № 18467 от 2014.08.30 «Способ сушки жидкого материала».

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение НИОК(Т)Р по договорам с заказчиком. При передаче технологии предоставляется поддержка: научно-техническое сопровождение работ по освоению технологии и созданию установок, техническая документация.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория химико-энергетических процессов [заведующий – доктор технических наук Пицуха Евгений Александрович].

+375(17)370-24-80, [pit.ea@hmti.ac.by](mailto:pit.ea@hmti.ac.by)

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫПУСКА ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Термомодифицированная древесина – экологически чистый материал, обладающий высокой биостойкостью, долговечностью, размерной стабильностью, низкой равновесной влажностью. Производство термомодифицированной древесины является одним из перспективных направлений развития деревообработки и промышленности строительных материалов.

Актуальной задачей является снижение себестоимости производства термомодифицированной древесины. Для ее решения в Институте разработаны способ и оборудование с использованием в процессе модификации интенсивной высокотемпературной сушки, что позволило значительно снизить себестоимость производства.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Предлагаемый способ обработки заключается в совмещении процесса сушки и термомодификации, при котором первой стадией модификации является высокотемпературная сушка со сбросом давления.

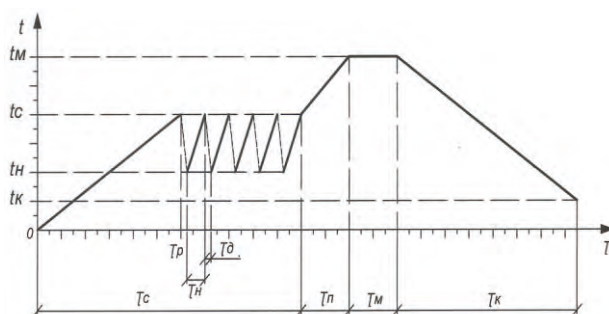
Обработка производится в герметичной камере под давлением нейтрального газа (пар,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). Сушка со сбросом давления заключается в циклической обработке путем прогрева материала под давлением до температуры  $120 - 140^\circ\text{C}$ , с последующим резким сбросом давления. При снижении влажности до  $5 - 8\%$  осуществляется кратковременная высокотемпературная обработка материала при температуре  $160 - 210^\circ\text{C}$ . Затем производится дезодорирование и охлаждение материала.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Способ термомодификации древесины с использованием высокотемпературной сушки со сбросом давления позволяет сократить время тепловой обработки более чем в два раза, и снизить затраты тепла на  $12 - 16\%$ .

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработан технологический регламент реализации способа термомеханической модификации древесины сбросом давления. На экспериментальном оборудовании получены образцы термомодифицированной древесины и проведены их испытания на



Циклограмма процесса термомодификации древесины:

$t_c$  – время сушки;  $t_m$  – время высокотемпературной обработки;  $t_k$  – время кондиционирования;  $t_m$  – температура материала при термомодификации;  $t_c$  – температура материала при сушке;  $t_n$  – температура насыщения;  $t_k$  – температура охлаждения материала.



Оцилиндрованная древесина сосны  
диаметром 180 мм



Внешний вид образцов после  
термомодификации  
(доска сосны толщиной 50 мм)

соответствие современным требованиям к материалу. Изготовлена пилотная установка для промышленной отработки технологии.

#### Характеристики установки:

- |                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| ○ диаметр камеры                | 0,6 м     |
| ○ длина камеры                  | 2,4 м     |
| ○ температура термомодификации  | до 245 °C |
| ○ давление в камере             | до 1 МПа  |
| ○ подводенная тепловая мощность | 15 кВт    |

#### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ № 18977 от 2014.02.28. «Способ термической обработки древесины и устройство для его осуществления».

#### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Создание предприятия по сушке и термомодификации древесины. Создание единичных установок по контрактам с заказчиком.

#### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена [заведующий – член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович].

+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

# ТЕХНОЛОГИЯ ДВУХСТАДИЙНОГО СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ В КИПАЩЕМ СЛОЕ

Разработка технологий и котельного оборудования с топками кипящего слоя считается одним из наиболее перспективных направлений в современной теплоэнергетике. Кипящий слой, представляющий собой хаотично циркулируемую смесь твердого топлива и инертных негорючих материалов, обеспечивает устойчивое горение в достаточно узком стабильном и регулируемом диапазоне температур. Технология позволяет максимально использовать энергетический потенциал топлива и при этом минимизировать образование вредных газообразных выбросов. Посредством регулирования технологических параметров можно сжигать практически любые материалы органического происхождения, включая бытовые отходы. Институт входит в число лидеров среди разработчиков котельного оборудования с топкой кипящего слоя.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Технология двухстадийного сжигания твердых биотоплив в кипящем слое совмещает слоевое сжигание топлива с вихревым дожиганием мелких фракций и газообразных горючих продуктов в надслоевом пространстве. Основными достоинствами такого метода являются качественное вихревое смесеобразование летучих продуктов неполного горения с вторичным воздухом, подаваемым тангенциально в надслоевое пространство; значительное снижение уноса мелких частиц вследствие действия центробежной силы; заметное уменьшение надслоевого пространства и, следовательно, габаритов топки. Это позволяет реализовать топочный процесс с более высоким тепловым напряжением топочного объема, значительно уменьшить коэффициент избытка воздуха, повысить КПД котла и снизить концентрацию монооксида углерода в отходящих газах по сравнению с прямоточными топками слоевого сжигания.

Создан прототип циклонно-слоевой топки. Водогрейный котел мощностью 2 МВт успешно эксплуатируется в Брестском ЖКХ.

Работающий прототип топки представлен в рамках «Белорусского промышленного форума-2018».

## ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Метод двухстадийного сжигания твердых биотоплив может быть использован при создании котлов малой и средней мощности ( $\leq 9,0$  МВт) для сжигания твердых биотоплив (древесные и бытовые отходы, фрезерный торф, пеллеты из сельскохозяйственных отходов, подстильно-пометная масса, активный ил) повышенной влажности (до 55-60 %).

### Характеристики технологии:

- коэффициент избытка воздуха: 1,15-1,25
- КПД: до 92 %
- снижение металлоемкости (по сравнению с традиционными котлами с кипящим слоем) на 20...30 %

Содержание CO и NO<sub>x</sub> в отходящих газах значительно ниже требований нормативных документов

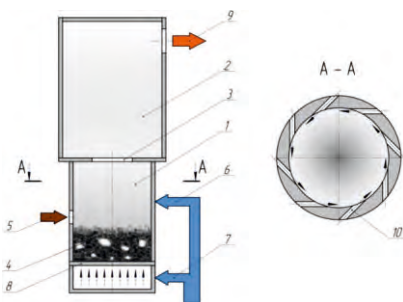


Схема циклонно-слоевой топки

- 1 циклонно-слоевая камера (камера сгорания)
- 2 камера догорания
- 3 пережим
- 4 кипящий слой топлива и инерта
- 5 ввод топлива
- 6 тангенциальный ввод вторичного воздуха
- 7 ввод первичного воздуха
- 8 газораспределитель
- 9 отвод продуктов горения
- 10 сопла ввода вторичного воздуха

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Способ двухстадийного сжигания с вихревой организацией надслоевого пространства твердых биотоплив позволяет значительно уменьшить коэффициент избытка воздуха (до  $\alpha = 1,15-1,25$ ) и снизить концентрацию монооксида углерода (CO) в отходящих газах по сравнению с прямоточными топками слоевого сжигания без закрутки потока. Оптимизированы геометрические параметры топки (относительный диаметр пережима  $d_{out}/D$ , живое сечение сопел), режимы работы топки (мощность, соотношение донного и тангенциального дутья), при которых концентрация оксидов азота не превышает  $500 \text{ мг/нм}^3$ , а монооксида углерода  $50 \div 500 \text{ мг/нм}^3$  (при  $\alpha = 1,2$ ).

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ на полезную модель № 7853, 8360, 10824, 11136.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Изготовление и поставка оборудования для сжигания твердых биотоплив.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория химико-энергетических процессов [заведующий – доктор технических наук Пицуха Евгений Александрович].

+375(17)370-24-80, [pit.ea@hmti.ac.by](mailto:pit.ea@hmti.ac.by)

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ПОРОШКОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ И ДРУГИХ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ В РЕАКТОРЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО КИПАЮЩЕГО СЛОЯ

В Институте разработана инновационная технология синтеза порошков карбида кремния SiC методом карботермического восстановления кремнезема в реакторе электротермического псевдооживленного (кипящего) слоя (реактор ЭТКС). SiC относится к инновационным материалам, потребление которого в современном высокотехнологичном производстве постоянно растет благодаря его механическим, электротехническим и физико-химическим свойствам. SiC обладает высокой твердостью и прочностью, химической стойкостью в окислительных средах, высокой теплопроводностью, низкой плотностью, низким коэффициентом термического расширения, что позволяет широко применять его в областях, где используются высокие температуры, агрессивные среды: в аэрокосмической, химической, атомной промышленности, в микроэлектронике, при изготовлении абразивных и режущих инструментов.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Технология синтеза порошков карбида кремния SiC методом карботермического восстановления кремнезема реализована на созданной автоматизированной экспериментальной установке с реактором ЭТКС.

Электротермический кипящий слой создается из смеси углеродного восстановителя С и мелкодисперсного кремнезема  $\text{SiO}_2$  заданного массового состава. В реакторе ЭТКС нагрев реагирующих компонентов происходит путем пропускания электрического тока через кипящий слой электропроводящих частиц углерода, с прямым преобразованием электрической энергии в тепловую при температурах 800 – 1900 °С, что вызывает энергетическую активацию реагентов.

Выделяющаяся энергия обеспечивает протекание эндотермических реакций, а электроразряды между псевдооживленными частицами создают область микроплазмы и разрушают химические связи в молекулах реагирующих веществ. Синтез SiC протекает на поверхности частиц углеродного восстановителя, на которой осаждаются пары монооксида кремния SiO, образующегося при испарении и диссоциации кремнезема  $\text{SiO}_2$ , и взаимодействия его расплава с углеродом при температуре свыше 1750 °С.



Эффективность технологии обеспечивается интенсивным тепло- и массопереносом между газом и твердыми частицами, текучестью слоя и его изотермичностью.

В реакторе ЭТКС обеспечивается возможность автоматизации технологического процесса, однородность состава и высокая чистота конечного продукта.

Высокий выход товарного мелкозернистого карбида кремния SiC в виде порошка различной пористости позволяет использовать его без дополнительных операций для получения композиционных материалов.

На основе SiC разработаны новые полимерные композиционные материалы и покрытия для различных областей техники.

#### Характеристики технологии:

- |                                                            |               |
|------------------------------------------------------------|---------------|
| ○ максимальная температура                                 | до 1900°C     |
| ○ получаемый продукт                                       | β-SiC и α-SiC |
| ○ производительность                                       | до 3 кг/ч     |
| ○ работа в непрерывном режиме                              |               |
| ○ высокая энергоэффективность                              |               |
| ○ возможность селективного синтеза различных политипов SiC |               |

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ

Промышленным методом получения SiC является восстановление кремнезема SiO<sub>2</sub> углеродом в крупнотоннажных электротермических печах по способу Э. Ачесона, предложенному в 90-е годы XIX в. Печи Ачесона используются до настоящего времени, несмотря на низкий относительный выход товарного карбида кремния, длительность процесса, неэкологичность, перерасход электроэнергии, применение ручного труда.

Внутренний нагрев реагирующих частиц смеси при протекании тока в реакторе ЭТКС принципиально более эффективен, чем нагрев при обтекании частиц горячим газом в печи Ачесона; снижаются затраты энергии на единицу массы продукта.

Способ и установка удостоены Диплома I степени и Золотой медали в номинации «Лучший инновационный проект в области материалов и химической продукции» на Петербургской технической ярмарке 2014 года.

#### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Евразийский патент на изобретение № 027539 «Способ и установка для получения карбида кремния», 2017.

#### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Создание единичных установок по контрактам с заказчиком.

Создание высокотехнологичных линий по получению карбида кремния и других карбидов и нитридов, а также линий по высокотемпературной очистке углеродных материалов от примесей.

#### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория химико-энергетических процессов [заведующий – доктор технических наук Пицуха Евгений Александрович].

+375(17)370-24-80, [pit.ea@hmti.ac.by](mailto:pit.ea@hmti.ac.by)

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ИЗ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ



## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Разработана и оптимизирована технология каталитического синтеза многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) из пропан-бутана или этилена в реакторе с псевдоожиженным слоем. Инновационными достоинствами технологии являются ее рекордно высокие показатели по удельной производительности, качеству продукта, коэффициенту использования сырья.

Синтез МУНТ осуществляется в реакторе с псевдоожиженным слоем. Рост нанотрубок происходит на специальном катализаторе высокой производительности (до 30 г МУНТ на 1 г катализатора).

Процесс синтеза МУНТ непрерывный, с циклической выгрузкой продукта и загрузкой порций свежего катализатора; оптимизирован по режимным и технологическим параметрам.

Технология характеризуется низким потреблением энергии, экологически безопасна. Технологический процесс хорошо масштабируется.

Создан экспериментальный образец реактора; получены образцы МУНТ.

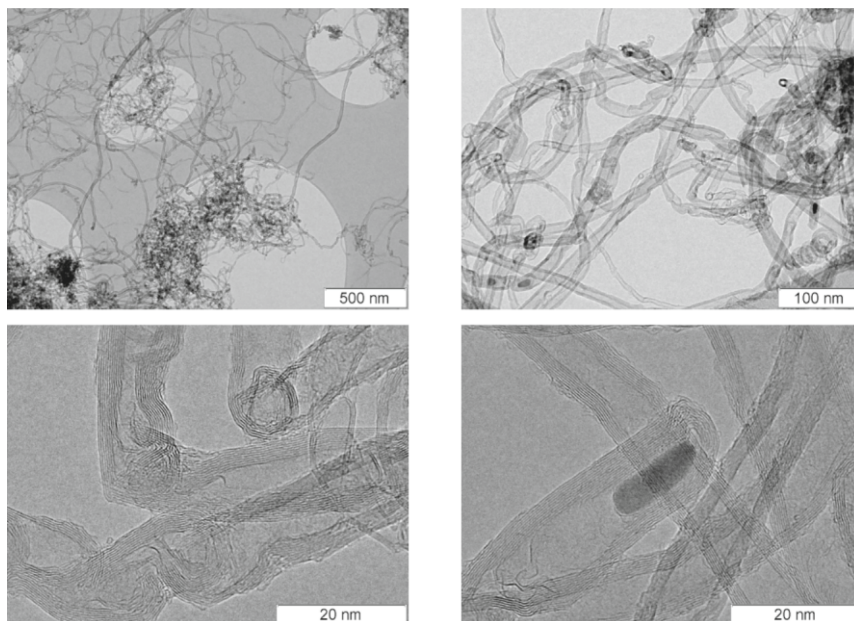
Разработано ТЗ на опытный образец реактора МУНТ производительностью 1 кг/ч. Возможно создание реакторов еще большей производительности.

## Технические характеристики реактора:

|                                                            |                                            |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| ○ производительность                                       | 0 – 50 г МУНТ/ч                            |
| ○ удельная производительность поперечного сечения реактора | 150-180 г МУНТ/ч на 1 дм <sup>2</sup>      |
| ○ степень конверсии газа-перкурсора                        | 70%                                        |
| ○ энергопотребление                                        | 4 – 6 кВт ч на 1 кг МУНТ                   |
| ○ качество продукта                                        | содержание МУНТ 90%                        |
|                                                            | диаметр 10-25 нм                           |
|                                                            | количество стенок 7-12                     |
|                                                            | содержание метал. катализатора < 5%        |
|                                                            | насыпная плотность < 100 кг/м <sup>3</sup> |

## ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Разработанная технология превосходит аналоги по удельной производительности и энергоэффективности, имеет преимущество по типу организации процесса и



Изображения образцов углеродных нанотрубок, полученные на просвечивающем электронном микроскопе.

возможности его автоматизации. Получаемые МУНТ обладают высокими функциональными свойствами, в частности, высоким поглощением радиоизлучения в СВЧ-диапазоне. Технология предназначена для областей промышленного производства материалов, неметаллических изделий, транспорта. МУНТ применяются в композитных материалах различного назначения, нано- и микротехнологиях, производстве поглотителей СВЧ-излучения и СВЧ-нагревателей.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ на полезную модель № 8662 «Реактор для получения углеродных нанотрубок в кипящем слое».

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Лицензирование. Продажа. Создание единичных установок по контрактам с заказчиком. Создание высокотехнологичных линий по получению МУНТ. Техническая документация. Техническая поддержка.

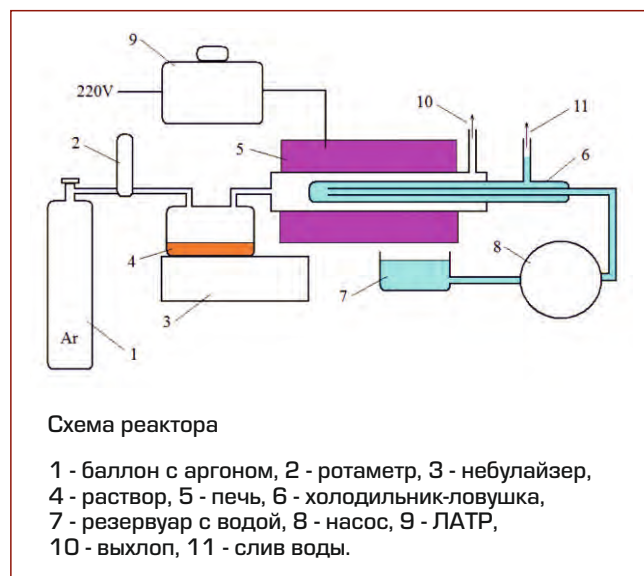
### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена [заведующий – член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович].  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

# ПРОИЗВОДСТВО НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ПИРОЛИЗА МИКРОННЫХ КАПЕЛЬ РАСТВОРОВ

Распылительный пиролиз микронных капель растворов солей является эффективным методом получения наночастиц. В результате испарительного охлаждения внутри микронных капель возникает пересыщенный раствор соли, который распадается с образованием наночастиц. В зависимости от скорости испарения капель, в аэрозольном реакторе можно получить наночастицы из оксидов металлов, металлов или твердых растворов. Их размеры зависят от скорости движения капель и регулируются в больших пределах ( $\varnothing$  5 – 40 нм). Метод может найти применение в лакокрасочной промышленности, фармацевтике, металлообработке, для получения присадки к нефтепродуктам.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ



## СХЕМА ОДНОГО ИЗ ВАРИАНТОВ РЕАКТОРА

Микронные капли получают при помощи ультразвукового небулайзера или газодинамического распылителя. В небулайзер непрерывно подается раствор соли и газовый поток (аргон или воздух), который проходит через аэрозольный реактор, стенки которого нагреты до высокой температуры; во время движения капли испаряются; образовавшиеся наночастицы улавливаются. Преимущества метода: химическая чистота наночастиц, возможности непрерывной работы, ускоренное протекание химических реакций, снижение энергозатрат и себестоимости производства.

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ: № 9752 от 30.12.2013; № 18452 от 30.08.2014.

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Создана опытная установка производительностью несколько грамм в час наночастиц широкого спектра химических составов и морфологий.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Создание предприятия по производству наночастиц. Изготовление оборудования под заказ. Техническое обслуживание, обучение персонала.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

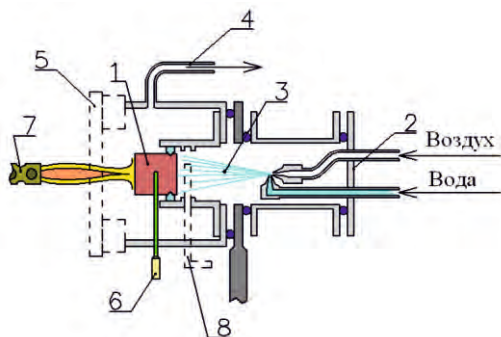
Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена [заведующий – член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович].  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

# ОХЛАЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ МИКРОННЫХ КАПЕЛЬ

Работа многих современных электронных устройств требует использования систем охлаждения. В непрерывном охлаждении нуждаются мощные лазеры, компоненты электронных систем, светодиодные системы, солнечные панели и др. Поскольку с развитием технологий мощность подобных устройств возрастает, традиционных систем охлаждения становится недостаточно. Встает задача создания систем охлаждения, позволяющих снимать достаточно большую плотность теплового потока при минимальной разности температур.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Предлагаемая технология снимает поток  $0.5 \text{ МВт/м}^2$  при разности температур всего  $40^\circ\text{C}$ . Охлаждающее устройство работает следующим образом. В одно из сопел подается вода, в другое – сжатый воздух. Воздух вытекает со звуковой скоростью из воздушного сопла и разбивает воду на микронные капли. Капли осаждаются и испаряются. Данный способ существенно эффективнее других технологий, что связано с высокой скоростью испарения микронных капель.



Общая схема охлаждающего устройства:

1 – медный калориметр, 2 – газодинамический распылитель микронных капель, 3 – поток микронных капель, 4 – вывод на вакуумный насос, 5 – присоска, 6 – термopара, 7 – нагреватель, 8 – заслонка.

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ: №7914 от 2012.02.28; №1339 от 2017.04.30; №1 1333 от 2017.04.30.

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Создана опытная установка, позволяющая снимать с нагретой поверхности до  $0,5 \text{ МВт/м}^2$  тепла при разности температур  $40^\circ\text{C}$ . Установка имеет один распылитель и может охлаждать до  $4 \text{ см}^2$  поверхности одним жидким соплом.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Разработка, установка и запуск систем микрокапельного охлаждения. Создание совместного производства в интересах микроэлектроники, лазерной техники, военной промышленности. Гарантийное обслуживание.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена [заведующий – член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович].

+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

# АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАШЕННЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН

Башенная градирня представляет собой сооружение, предназначенное для воздушного охлаждения большого количества воды. В основе работы испарительных градирен лежит передача тепла от жидкости (воды) атмосферному воздуху при непосредственном контакте сред – при охлаждении воды и ее поверхностном испарении. Естественная тяга воздуха создается за счет разности давлений в нижней и верхней частях башни. В этом виде градирни присутствуют элементы, от которых зависит эффективность ее работы: ороситель, водораспределение с форсунками, жалюзи, аэродинамические устройства, совершенствованию конструкции которых посвящены технологические предложения Института.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

**АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЗАВИХРИТЕЛЬ** обеспечивает закрутку входящего в подоросительное пространство градирни воздуха, что позволяет интенсифицировать процессы тепло- и массообмена внутри градирни, улучшить аэродинамику охлаждающих входящих воздушных потоков и обеспечить дополнительное понижение температуры оборотной воды, поступающей от конденсатора турбины станции, на несколько градусов в зависимости от режима работы турбины и климатических условий.

## ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОКНО С РЕГУЛИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

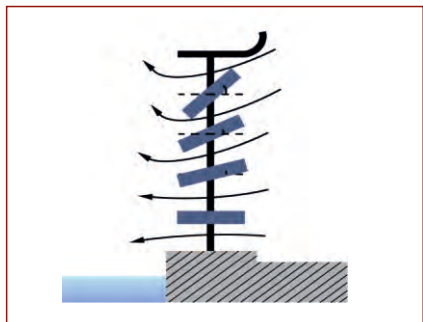


предназначено для оптимизации внутренней аэродинамики градирни за счет удаления наиболее нагретой насыщенной водяными парами части воздушного потока через созданное вентиляционное окно. Внутри окна устанавливаются оригинальные регулирующие устройства, которые направляют теплый и насыщенный влагой воздух из центральной зоны в периферийную область подоросительного пространства, где он, смешиваясь с более холодным и сухим воздухом, увеличивает тягу в этой части градирни. Это позволяет интенсифицировать процесс испарительного охлаждения и дополнительно снизить температуру оборотной воды.



## МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ЗИМНИМИ ЖАЛЮЗИЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

представляет собой новую кинематическую схему управления зимними поворотными щитами жалюзийного устройства, располагая их под заданным углом к горизонту. Разработка улучшает



аэродинамику входящего воздушного потока в верхней части воздухоподводящих окон, позволяет ликвидировать имеющиеся там застойные зоны и увеличить скорость и «дальнобойность» потока входящего воздуха.

### **МОДУЛЬ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧИ ВОЗДУХА**

Модуль является управляющим элементом охлаждающей способности башенной испарительной градирни, в которой оптимально сочетается

естественная и дополнительная вынужденная тяги градирни. Охлаждающий воздух принудительно подается в центральную зону градирни, причем его расход поддерживается на уровне 40-80% от общего расхода воздуха.

### **ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

Дополнительное понижение температуры оборотной воды до 3°C. Экономия на градирне с площадью орошения 3000 м<sup>2</sup> достигает 1500 т.у.т. за сезон. Модернизация не требует остановки работы градирен и окупается в течение двух сезонов эксплуатации.

Разработанные технологические предложения по модернизации градирен дают возможность ликвидировать разрыв между установленной и располагаемой мощностью тепловых электростанций в наиболее напряженный летний период.

### **СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ**

Разработки внедрены на 14 градирнях ТЭЦ в Республике Беларусь, Российской Федерации, Китае, Грузии.

### **СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ**

Патенты РБ № 1293 «Градирня», № 2098 «Электрическое водонагревательное устройство», № 8995 «Способ охлаждения жидкости в градирне и вентиляционная градирня для его осуществления», № 10380 «Градирня» и др.

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Научное и техническое сопровождение модернизации и реконструкции ранее построенных, а также проектируемых новых градирен на договорной основе.

### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена [заведующий – член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович].  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

## ТЕПЛОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Тепловой насос представляет собой устройство, с помощью которого можно переносить тепло от менее нагретой среды к другой, увеличивая температуру последней. Тепловые насосы являются альтернативными источниками энергии, позволяющими получать дешевое тепло без вреда для окружающей среды.

### ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА ТНУ ПКН-30

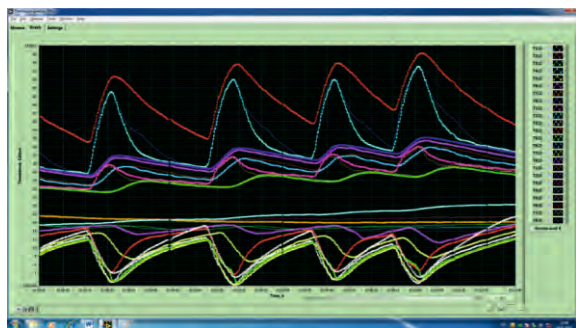
На базе экспериментального теплового насоса создана теплонасосная установка ТНУ ПКН-30 (30 кВт), предназначенная для проведения испытаний и исследований с целью совершенствования эксплуатации тепловых насосов различных конструкций в режимах использования и тепла, и холода, а также для демонстрации возможности



использования в режиме обогрева – теплый пол (радиаторного, воздушного), в режиме охлаждения – осушения воздуха (хранения продуктов, овощехранилищ).

При работе установки температура хладагента в испарителе изменяется от 2 до 12 °С, в конденсаторе от 30 до 57 °С. Это обеспечивает получение от 28,5 до 32,5 кВт тепла при потреблении от 4,4 до 5,0 кВт электрической энергии. Таким образом, по теплу коэффициент эффективности составляет от 5,3 до 7,4. По холоду при потреблении от 4,4 до 5,0 кВт электрической энергии обеспечивается от 24,1 до 27,5 кВт холода; коэффициент эффективности от 4,3 до 6,4.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА



Компрессор MLZ076T4LP9 обеспечивает поддержание давления в зоне испарителя от 0,5 до 0,8 МПа, в зоне конденсатора от 2 до 2,5 МПа. Циркуляционные насосы перекачивают теплоноситель от испарителей к потребителям холода и от конденсаторов к потребителям тепла. Все узлы и коммуникации, входящие в состав установки, работают автономно, а измерительные и регулирующие приборы осуществляют обмен с управляющим

компьютером через стандартный универсальный интерфейс USB, что обеспечит достаточный уровень унификации.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Установка введена в эксплуатацию и используется для определения параметров теплового режима обогрева помещений (комнат). Конструкция установки позволяет тестировать тепловые насосы других производителей.

## ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА ТНУ ДПКН-1



Теплонасосная установка ТНУ ДПКН-1 (15 кВт) предназначена для проведения испытаний с целью совершенствования конструкции теплового насоса, поиска оптимальных режимов его эксплуатации, а также для демонстрации возможности использования в режиме обогрева (теплый пол), в режиме охлаждения – осушения воздуха.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

ТНУ ДПКН-1 (15 кВт) создана на базе экспериментального парокомпрессионного теплового насоса Э-ДПКН-1 (до 15 кВт),

рассчитанного на работу с хладагентом R404A, который является смесью, близкой к азеотропной, что определяет постоянство эксплуатационных характеристик. Возможны модификации теплонасосной установки: стандартная (с двумя эффективными теплообменниками со спиральным компрессором); компактная (с четырьмя эффективными теплообменниками со спиральным компрессором). Используются высокоэффективные теплообменники с медными трубками и трубками из нержавеющей стали с увеличенной площадью теплообмена в различных модификациях. Теплообменники работают с теплоносителями из грунтовых теплообменников горизонтального типа, технологической водой. Возможны комбинации с другими внешними теплообменниками и теплоносителями (вода, гликоль, рассол), с дополнительным оборудованием, системами рекуперации.

### Характеристики технологии:

|                                                                                                                     |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| ○ полная потребляемая мощность                                                                                      | 2,5-2,9 кВт       |
| ○ электропитание                                                                                                    | 380-400В; 3/50 Гц |
| ○ компрессоры, тип                                                                                                  | спиральные        |
| ○ регулирование производительности                                                                                  | стандартные TPV   |
| EER коэффициент (Energy Efficiency Ratio, рассчитывается как отношение мощности охлаждения к потребляемой мощности) | 5,5-4,0           |
| COP коэффициент (Coefficient of Performance, обозначает отношение мощности обогрева к потребляемой мощности)        | 6,5-5,0           |

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение совместных научно-исследовательской работ на договорной основе. Техническая документация. Научно-техническое сопровождение.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович).  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

# СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ И ПАРОВЫХ КАМЕР

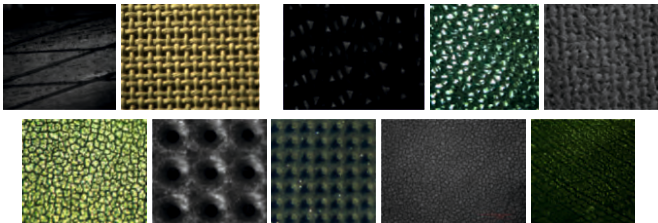
Тепловая труба и паровая камера — испарительно-конденсационные устройства, работающие по замкнутому циклу, предназначенные для передачи больших тепловых мощностей при малых градиентах температуры. Эти устройства характеризуются высокой эффективной теплопроводностью, способностью действовать как трансформатор теплового потока, изотермичностью поверхности при низком термическом сопротивлении.

В Институте разрабатываются тепловые трубы, паровые камеры и системы охлаждения на их основе для охлаждения оптоэлектронных компонентов при высокой плотности теплового потока, охлаждения компонентов лазерной техники, радиолокационных систем и силовой электроники, регулирования температуры источников тепловыделения в космической технике и других приложений.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Созданы серии тепловых труб и паровых камер с различными фитильными структурами (сетчатной, канавчатой, микропрофилированной).

Отличительные свойства разработанных тепловых труб и паровых камер, по сравнению с традиционными, оснащенными порошковыми фитилями: высокие эксплуатационные характеристики, устойчивость к глубокой заморозке, вибростойкость.

| Корпус                                   | Тепловая труба                                                                       |  | Паровая камера                                                                     |  |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                          |     |  |  |  |
| Рабочая жидкость                         | Медь<br>Вода                                                                         |  | Медь<br>Вода                                                                       |  |
| Фитиль                                   |  |  |                                                                                    |  |
| Термическое сопротивление                | 0,1 – 0,3 К/Вт                                                                       |  | 0,13– 0,3 К/Вт                                                                     |  |
| Эффективный коэффициент теплопроводности | >8000 Вт/(м·К)                                                                       |  | >3300 Вт/(м·К)                                                                     |  |
| Максимальная теплоспособность            | 50 – 85 Вт                                                                           |  | 55 – 100 Вт                                                                        |  |

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработанные тепловые трубы, паровые камеры и системы охлаждения готовы к коммерциализации.

Изготовлены и испытаны серии тепловых труб и паровых камер с различными фитильными структурами.

Разработана система охлаждения на основе тепловых труб.

Разработан и реализован в среде Microsoft Excel алгоритм расчета процессов теплообмена внутри тепловой трубы.

Выполнено численное моделирование процессов теплообмена в системе охлаждения на основе тепловых труб при естественной конвекции с помощью программного комплекса Comsol Multiphysics 5.2.

Разработан и реализован в среде MathCad алгоритм оптимизации геометрии ребер систем охлаждения.

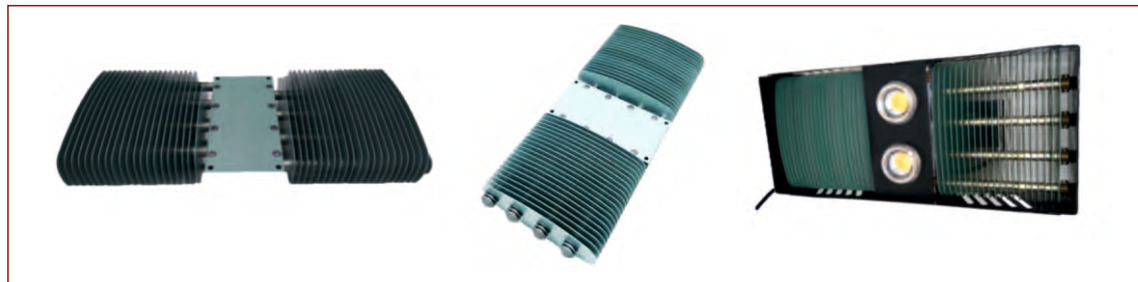
Произведены опытные образцы систем охлаждения на тепловых трубах для светодиодных промышленных светильников.

Выполняются работы по увеличению теплопередающей способности тепловых труб и паровых камер.

## **СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ**

Известно, что увеличение температуры на  $11^{\circ}\text{C}$  приводит к уменьшению времени жизни и световой мощности светодиода на 15% в течение 10000 часов. Для эффективного снижения температуры нагревания мощных светодиодов разработаны системы охлаждения на тепловых трубах, которые используются в светодиодных промышленных светильниках ДСП01-2х100-001 У1 «Промлайт» и ДСП01-2х150-001 У1 (совместная разработка Института и Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси).

Инновационная система охлаждения на тепловых трубах позволяет использовать мощный светодиод (до 500 Вт), уменьшить вес светильника в 2,5 – 3 раза по сравнению с традиционными светодиодными светильниками аналогичной мощности, увеличить срок службы светодиодов.



## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Разработка и изготовление устройств под требования заказчика на договорной основе. Техническая документация. Научно-техническое сопровождение.

## **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnп.itmo.by](mailto:pavlik@dnп.itmo.by)

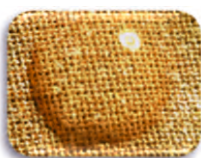
## ТОНКИЕ И УЛЬТРАТОНКИЕ ПАРОВЫЕ КАМЕРЫ



### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Разработаны тонкие (толщиной от 1 до 3 мм) и ультратонкие (толщиной от 0,4 до 1 мм) паровые камеры для систем охлаждения теплонагруженных труднодоступных электронных компонентов и устройств, в том числе мобильных телефонов и планшетов.

Разработаны уникальные супергидрофильные фитили для паровых камер с повышенными капиллярно-транспортными характеристиками (на фото).



исходный сетчатый  
омедненный фитиль



гидрофильный  
фитиль



гидрофобный  
фитиль

Апробированы разные виды гидрофобизации поверхностей, режимы для создания поверхности с контролируемыми свойствами смачивания (на фото).



116°



84°



56°



34°



9°

### ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗРАБОТКИ

В сравнении с мировыми аналогами разработанные паровые камеры обладают высокой теплопередающей способностью (от 20 Вт при толщине камеры 0,4 мм до 85 Вт при толщине 3 мм), высокой изотермичностью (термическое сопротивление от 0,1 К/Вт при толщине 3 мм, до 1,8 К/Вт при толщине камеры 0,4 мм), низкой себестоимостью, устойчивостью к глубокой заморозке, вибрации; гравитационно независимы.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработанные паровые камеры готовы к коммерциализации.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Разработка и изготовление устройств под требования заказчика на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

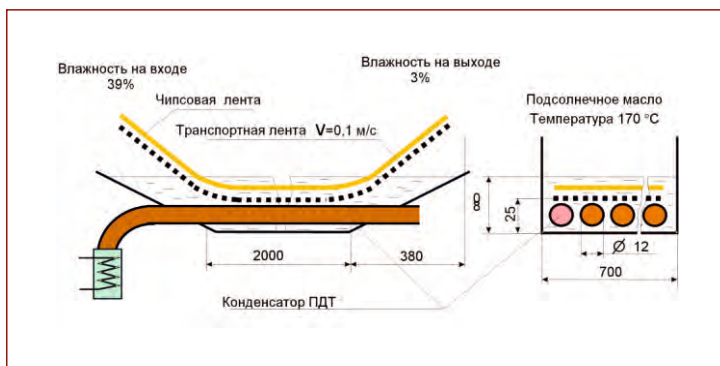
### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

## СИСТЕМА РАЗОГРЕВА МАСЛА В ОБЖАРОЧНОЙ ПЕЧИ НА БАЗЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Пародинамические термосифоны (ПДТ) – теплопередающие устройства, в которых реализуется замкнутый пародинамический испарительно-конденсационный цикл переноса тепла. Последние инновации в конструкции пародинамических термосифонов дают возможность создавать тепловые трубы и термосифоны для нагрева и охлаждения воздуха, грунта и дорожного покрытия, для таяния снега и льда на крышах зданий, стоянках автомобилей, в качестве теплообменников тепловых насосов, аккумуляторов теплоты и холода и других приложений.



### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Технология реализована на одном из предприятий Минской области. Удобные массогабаритные характеристики печи, существенно понижено потребление электроэнергии. Предотвращается риск выхода из строя электрического нагревателя вследствие перегрева.

Имеется возможность тонкой регулировки тепловой нагрузки нагревателя, температуры растительного масла.

Высокая степень изотермичности поверхности гарантирует качество продукта.

### Характеристики технологии:

- рабочий диапазон температур 90 – 220 °C
- точность поддержания температуры на площади 1 м<sup>2</sup> ± 3 °C

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ на полезную модель № 9815 от 30.12.2013; № 9816 от 30.12.2013.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Изготовление оборудования для производства на договорной основе. Проведение инструктажа и обучение специалистов потребителя.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатории пористых сред (исполняющий обязанности заведующего — доктор технических наук, профессор Васильев Леонард Леонидович).

+375(17)249-21-33, [lvasil@hmti.ac.by](mailto:lvasil@hmti.ac.by)

## ТЕПЛООБМЕННИКИ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Новые теплопередающие устройства стимулируют переход к интегральному теплоснабжению, когда на смену традиционному теплоснабжению приходит «климатизация». Совершенствование теплонасосных технологий для создания оптимальных параметров микроклимата внутри помещений позволяет им претендовать на роль базовых в системах климатизации городов и зданий.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В Институте разработаны конструкции пародинамических термосифонов (ПДТ), в которых реализуется замкнутый испарительно-конденсационный цикл переноса тепла. Отличие термосифонов от тепловых труб заключается в отсутствии фитиля во внутренней полости термосифона, тем самым возврат конденсата в область испарения осуществляется не за счет капиллярных сил, а под действием сил гравитации. По сравнению с тепловыми трубами, ПДТ не требуют применения сложных капиллярных структур, отличаются простотой в изготовлении, надежностью в эксплуатации, высокими показателями максимальной теплопередающей способности.



Пародинамический термосифон на экспериментальном стенде:

1 – испаритель с теплоизоляцией, 2 – конденсатор; 3 – термопарный провод; 4 – провода питания электронагрева.

### ПАРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕРМОСИФОНЫ С ГИБКИМ КОНДЕНСАТОРОМ

ПДТ с гибким конденсатором предназначены для передачи теплового потока в горизонтальном направлении на расстояния десятки – сотни метров. Исследования термодинамических параметров термосифона с конденсатором длиной 2,5 м при наружном диаметре трубы 24 мм и моделирование его работы на стенде показали, что в зависимости от передаваемой тепловой нагрузки и величины кольцевого зазора в канале конденсатора имеют место различные режимы течения

рабочей жидкости, определяющие характеристики устройства. Конденсатор ПДТ можно выполнить гибким в виде полимерных трубок малого диаметра. Такой ПДТ не боится коррозии, может долго находиться в земле. Коэффициент полезного действия ПДТ составляет 90%.

### ПАРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕРМОСИФОНЫ В СОЛНЕЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

ПДТ как теплообменник тепловых насосов (адсорбционных и абсорбционных) может быть использован в адсорбционном солнечном холодильнике для организации поочередной десорбции хладагента в двух адсорберах. Конденсаторы термосифона размещены вдоль оси цилиндрических адсорберов и нагревают сорбент от солнечного излучения. Длина конденсаторов 1 м, термическое сопротивление  $R = 0,05 \text{ K/Wt}$ .

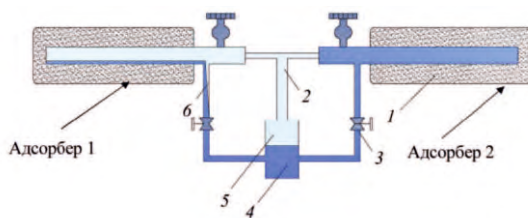


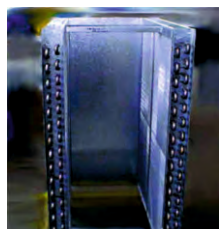
Схема теплообменника адсорбционного солнечного холодильника с системой терморегулирования на базе ПДТ, имеющего один испаритель и два конденсатора, расположенные в адсорберах: 1 – конденсаторы, 2 – паровая трубка, 3 – вентили, 4 – жидкость в испарителе, 5 – испаритель, 6 – жидкостная трубка.

Утилизация природной теплоты и холода с помощью теплообменника на базе ПДТ и солнечного холодильника на твердых сорбентах позволяет повысить эффективность работы системы кондиционирования воздуха в энергоэффективных домах до 65%.



## ТЕПЛООБМЕННИКИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Для получения оптимальных параметров системы кондиционирования, работающей в условиях влажного и теплого климата, нужно обеспечить возможность как охлаждения / нагрева приточного воздуха, так и охлаждения / нагрева воздуха на выходе кондиционера.



Теплообменники на тепловых трубах и термосифонах позволяют осуществить интенсивный теплообмен между входящим и выходящим потоками воздуха, а охладитель сорбционного теплового насоса конденсирует пары воды в потоке воздуха, контролируя таким образом влажность воздуха на выходе системы кондиционирования.

**Параметры воздуха на выходе из системы кондиционирования:**

- температура 20–23 °C
- относительная влажность (RH) 40–60%

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент США No. 4554966, 26.11.1985. Патенты Франции, Швеции, Бельгии.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Изготовление оборудования на договорной основе. Проведение инструктажа и обучения специалистов потребителя.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатории пористых сред (исполняющий обязанности заведующего — доктор технических наук, профессор Васильев Леонард Леонидович).

+375(17)249-21-33, [lvasil@hmti.ac.by](mailto:lvasil@hmti.ac.by)

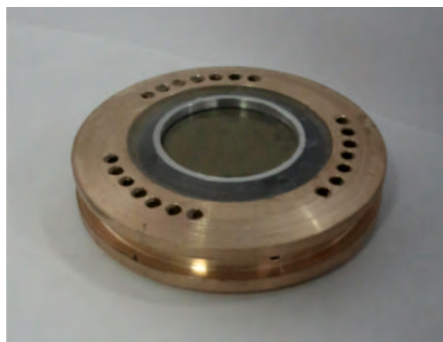
## ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ МЕМБРАНЫ

Для разделения и концентрирования компонентов газовой смеси большой интерес представляет мембранный метод, обладающий низким уровнем энергопотребления, высокой промышленной и экологической безопасностью. Институт имеет успешный опыт разработки мембран и газоразделительного оборудования на их основе.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

### МЕМБРАНЫ ИЗ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ НА ИХ ОСНОВЕ

Разработан способ получения селективно-проницаемых диффузионных мембран нового поколения из анодного оксида алюминия. Созданы диффузионные мембраны малых толщин (~100 мкм) с упорядоченной пористостью и плотностью упаковки пор до  $10^{12} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ .



Мембранный газоразделительный элемент

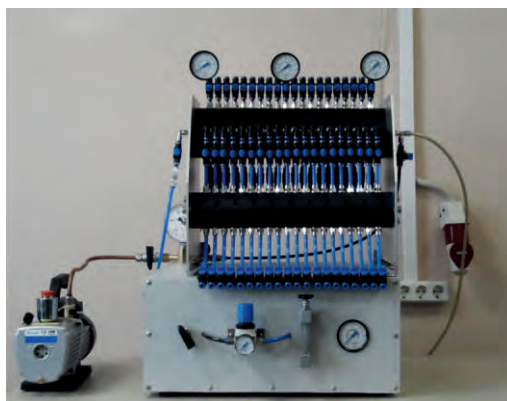
Величина диффузного потока через мембрану обратно пропорциональна толщине мембраны, так что увеличение толщины мембраны приводит к уменьшению потока и повышению затрат на единицу продукции. Поэтому при изготовлении мембран особое внимание уделяется уменьшению толщины при сохранении механической прочности.

Для эффективного разделения газовой смеси диаметр пор подбирается таким образом, чтобы реализовывалось только кнудсеновское течение, поскольку пуазейлевский поток, увеличивая проницаемость, не способствует процессу разделения, снижая селективность.

Анодный оксид алюминия является высокотехнологичным материалом,

позволяющим получать мембраны любых форм посредством применения таких методов обработки, как фотолитография, локальное электрохимическое окисление, прецизионное травление. При необходимости мембрана может оснащаться различными конструктивными элементами: крепежными обечайками, усилительными балками и пр., причем данные элементы выполняются непосредственно на мембране в процессе ее изготовления.

Разработанные мембраны обладают рядом перспективных преимуществ. Использование стандартных методов и оборудования микроэлектроники позволяет



Мембранная газоразделительная установка

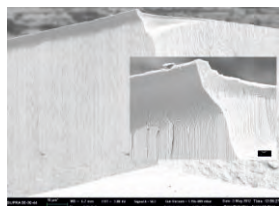
## Результат обогащения по тяжелому компоненту для одностадийного прохода газовой смеси через единичный диффузионный элемент

| Компоненты газовой смеси | Исходный состав, % | Состав ретентата, % |
|--------------------------|--------------------|---------------------|
| He                       | 99                 | 97,67               |
| CH <sub>4</sub>          | 1                  | 2,33                |
| He                       | 95                 | 84,2                |
| CH <sub>4</sub>          | 5                  | 15,8                |
| H <sub>2</sub>           | 99,9               | 99,08               |
| N <sub>2</sub>           | 0,1                | 0,92                |

существенно снизить материалоемкость, трудоемкость производства, себестоимость изделия; формирование пористых структур групповыми методами, используемыми в технологии микроэлектроники, значительно повышает выход и воспроизводимость

параметров диффузионных мембран.

Основным механизмом проникновения газа через мембрану из анодного оксида алюминия является кнудсеновская диффузия. На основе численного моделирования определены оптимальные геометрические и технологические параметры мембранного элемента и мембранной установки, что



СЭМ-изображения скола и поверхности мембраны

позволило добиться максимальной эффективности процесса мембранного газоразделения.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработанные мембраны готовы к коммерциализации.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Разработка и изготовление устройств под требования заказчика на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

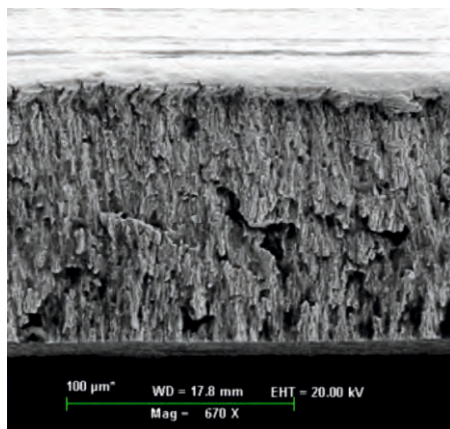
Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

## ВОДОРОДОПРОНИЦАЕМЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ И ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ НА ИХ ОСНОВЕ

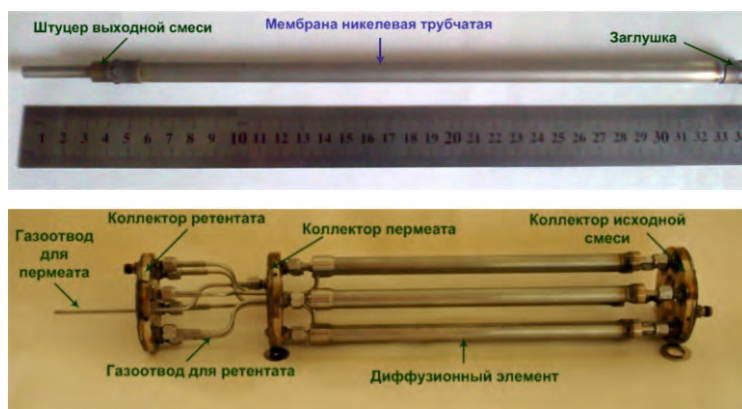
Разделение водородосодержащей смеси при помощи сплошных металлических мембран является эффективным процессом, позволяющим получать как примесные газы, так и высокочистый водород.

Разработаны плоские и трубчатые (в том числе капиллярные, диаметром 4 мм) конфигурации мембран. Оработаны технологии создания палладий-никелевых,



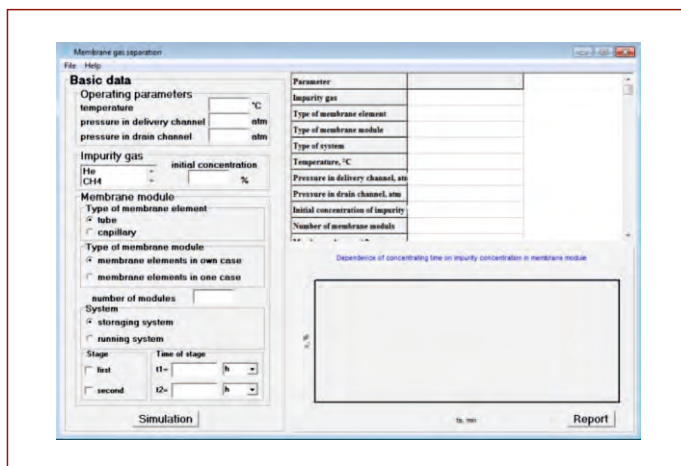
никелевых мембран толщиной от 80 мкм. Для достижения максимальной водородопроницаемости изготовлены бинарные никелевые мембраны суммарной толщиной 90 мкм, состоящие из тонкого (10–15 мкм) непористого селективного и пористого конструкционного слоев никеля. В полученных никелевых мембранах энергия активации меньше, чем в палладий-никелевых, в результате чего скорость проникновения водорода в них выше. При этом производство никелевых мембран экономически выгоднее, а капиллярные мембраны хорошо зарекомендовали себя при высоких температурах и давлениях (до 10 атм).

Исследования по проницаемости простыми газами (He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>) при



Мембрана, диффузионный модуль и экспериментальная установка для мембранной сепарации газов

давлениях в напорном канале от 2 до 6 атм. и температурах до 700 °С показали непроницаемость никелевой мембраны по отличным от водорода газам.



Данный подход реализован в созданной экспериментальной установке для мембранной сепарации газов, предназначенной для исследований процессов разделения и концентрирования компонентов водородсодержащих газовых смесей. В установке используются несколько модулей, соединенных параллельно или последовательно, при этом можно реализовать накопительный либо проточный режим работы.

Производительность экспериментальной установки, созданной на основе никелевых мембран, составляет 30–90 л/(м<sup>2</sup>·ч) в зависимости от выбранного режима.

Разработан программный комплекс «Мембранное газоразделение 1.0» (MGS v. 1.00), позволяющий моделировать процессы газоразделения для различных начальных условий, сравнивать теоретические расчеты и экспериментальные данные, вносить изменения в работу установки для достижения максимальной эффективности процесса разделения водородсодержащих газовых смесей.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработанные мембраны готовы к коммерциализации.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Разработка и изготовление устройств под требования заказчика на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ № 7690 от 28.08.2011 «Мембранный узел для выделения водорода из смеси газов».

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

## ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНАЯ КАРБИДОКРЕМНИЕВАЯ КЕРАМИКА И ИЗДЕЛИЯ НА ЕЕ ОСНОВЕ

Возможность реализации многих передовых инженерных решений тесно связана со свойствами используемых материалов. Так, для создания зеркал с большой апертурой для космических телескопов ключевым обстоятельством является уменьшение массы зеркала при условии сохранения качества и формы поверхности. Тонкие и легкие зеркала позволяют снизить массу оправок и монтажных устройств и уменьшить стоимость всего инструмента. Важным следствием уменьшения толщины зеркала является снижение его тепловой инерционности, что улучшает качество изображения. При изготовлении выводимых на орбиту инструментов основное внимание уделяется массе, механической прочности, обрабатываемости, хрупкости, устойчивости материала к агрессивным воздействиям и высокой температуре.

Традиционными для зеркал больших оптических телескопов являются ситалл, церодур и их аналоги. Активно ведутся работы по использованию новых материалов. Наиболее перспективными из них считаются бериллий и карбид кремния.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Разработана технология получения композитного материала на основе карбида кремния (композит Si/SiC), технология изготовления ультраоблегченных зеркал из него и способы механической обработки этих изделий. Изготовлены образцы зеркал



диаметром 205 мм с удельной массой  $17 \text{ кг/м}^2$ , что относится к лучшим показателям среди мировых аналогов. Проведены успешные испытания насадок для высокотемпературных горелок (форсунки и др.) для работы при тепловых нагрузках до  $5 \text{ МВт/м}^2$ . Карбидокремниевый пористый композит с наноструктурированным углеродным покрытием обладает большой удельной поверхностью (до  $500 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и может использоваться в качестве электрода для накопителей энергии (суперконденсаторов).

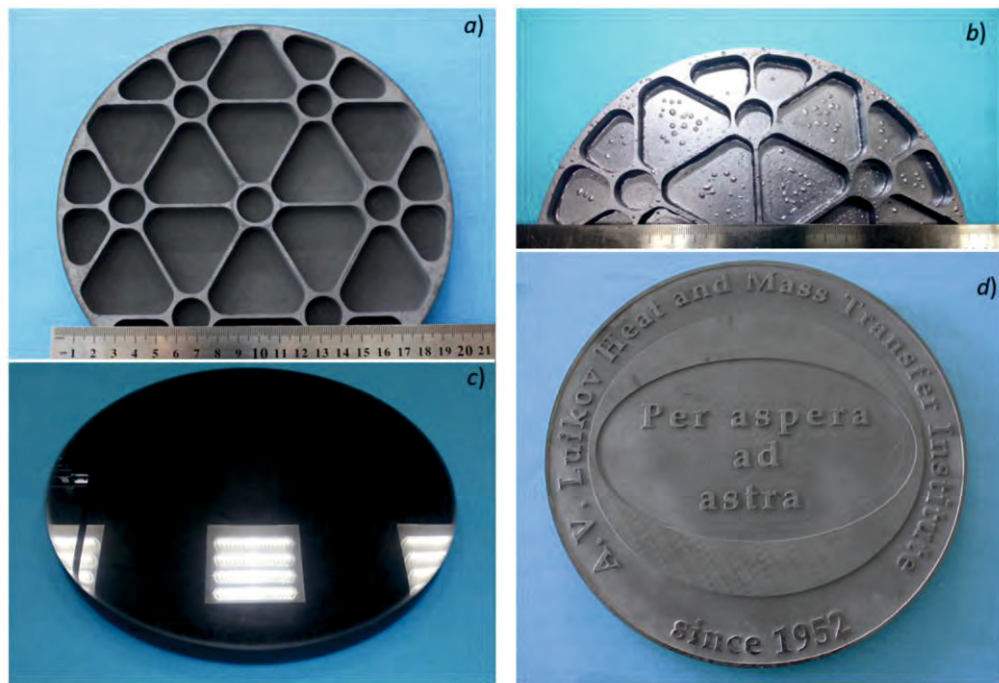
### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Композит Si/SiC при высокой плотности  $3,13 \text{ г/см}^3$  обладает хорошим сочетанием механических (модуль упругости – до 420 ГПа) и теплофизических (коэффициент теплопроводности – до  $180 \text{ Вт/(м К)}$ ) свойств.

Благодаря высокой температуре плавления материала ( $\sim 2700^\circ\text{C}$ ) из него могут изготавливаться как зеркала для космических приложений, так и элементы комбинированной тепловой защиты для высокоскоростных летательных аппаратов, другие элементы технологического оборудования.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ на изобретение № 22756 от 19.03.2018 «Способ формования отливки из шликера и устройство для его осуществления», патент РБ на изобретение «Способ удаления термопластичной связки из керамической заготовки с ее поэтапным



Образцы подложек зеркал на основе композита Si/SiC (диаметр подложки зеркала 205 мм):

- a) вариант структуры облегчения зеркала (тыльная сторона подложки);
- в) структура облегчения после реакционного спекания с толщиной ребер 2 мм;
- с) плоская поверхность подложки зеркала после предварительной полировки;
- d) демонстрация возможностей разработанной технологии в части мелкомасштабной механической обработки деталей из карбида кремния.

нагревом» (заявка № 20170505 от 2019.08.30); патент РБ на изобретение «Способ изготовления зеркала из шликерной массы на основе карбида кремния» (заявка №а20180437 от 25.10.2018); патент РБ на полезную модель №11738 от 30.08.2018 «Устройство для автоматического контроля однородности смеси компонентов в процессе ее приготовления»; патент РБ на полезную модель № 11809 от 30.10.2018 «Форма для горячего шликерного литья под давлением».

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Разработка и изготовление изделий на договорной основе.

При передаче технологии предоставляется оборудование, научно-техническое сопровождение.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович).

+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА И ТЕРМООБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

Снижение энергоемкости продукции – важнейший фактор ее конкурентоспособности. Морально и физически устаревшее печное оборудование для термообработки металла является общей проблемой многих промышленных предприятий. В лаборатории радиационно-конвективного теплообмена специалисты в области теплообмена занимаются созданием нового и модернизацией существующего печного оборудования на основе детальных теплофизических расчетов с учетом новейших мировых достижений.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Особенностями создаваемого печного оборудования является использование комбинации легковесных высокотемпературных теплоизоляционных материалов для снижения тепловой инерционности печи и керамических огнеупоров для создания требуемой механической прочности, применение современных сплавов сопротивления для нагревателей, фасонной керамики для крепления нагревателей, автоматизированных систем управления. Разработаны и изготавливаются, совместно с Барановичским станкостроительным заводом (филиал ЗАО "Атлант"), различные модели камерных, шахтных и колпаковых печей.

### КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ СО СТАЦИОНАРНЫМ ПОДОМ СНО

#### 6.12.4/11-И1

Камерная электропечь сопротивления со стационарным подом имеет следующие особенности:

- наличие комбинированной футеровки для защиты нагревателей от ударов садки: внутренний слой футеровки выполнен из одного слоя шамотного кирпича (за исключением свода); второй слой футеровки на боковых стенах, а также футеровка свода и заслонки выполнены из высокотемпературного волокнистого материала
- нагреватели из сплавов сопротивления Kanthal A-1
- система управления на базе промышленного контроллера с возможностью визуализации и архивации данных
- механизированная заслонка



### КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ВЫКАТНЫМ ПОДОМ СНО 8.16.8/11

Электропечь сопротивления с выкатным подом имеет следующие особенности:

- футеровка из легковесных волокнистых плит;
- нагреватели из сплавов сопротивления Kanthal A-1
- система управления на базе промышленного контроллера с возможностью визуализации и



- архивации данных
- специальная фасонная керамика для крепления нагревателей
- механизированный под люки для управления остыванием садки

### **ШАХТНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ СШО 6.6/9**

Печь имеет следующие особенности:

- футеровка из легковесных волокнистых плит
- нагреватели системы Fibrothal
- система управления на базе промышленного контроллера с возможностью визуализации и архивации данных (отдельно стоящий шкаф)
- высокотемпературный вентилятор для повышения равномерности нагрева садки и ручное открытие крышки печи



### **ШАХТНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

#### **СШО 10.10/10**

Установка имеет следующие особенности:

- футеровка из легковесных волокнистых плит
- нагреватели из сплавов сопротивления Kanthal A-1
- система управления на базе промышленного контроллера с возможностью визуализации и архивации данных (отдельно стоящий шкаф)
- специальная фасонная керамика для крепления нагревателей
- электромеханический подъём крышки печи

#### **Характеристики:**

- рабочие температуры до 1100 °C
- масса садки от 200 до 1500 кг
- экономия энергии по сравнению со старыми аналогами до 1,5 - 2 раз;
- равномерность температуры в рабочем пространстве ±5 - 7 °C

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Изготовление стандартного печного оборудования, разработка и изготовление нестандартного печного оборудования. Техническая документация. Научно-техническое сопровождение.

### **СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ**

Патент РБ № 16481 от 30.10.2012 «Способ и устройство для управления процессом горения в промышленной газопламенной печи».

### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович).  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ СШЦ-8.16/10

Цементация стали представляет собой поверхностное диффузионное насыщение малоуглеродистой стали углеродом с целью повышения твёрдости и износостойчивости. Этот процесс является основой промышленного процесса газовой цементации, который широко распространен на машиностроительных и станкостроительных заводах.

Проблемные места данной технологии – сложность регулирования необходимого уровня углеродного потенциала в процессе цементации, сложность и высокая стоимость газоприготовительного оборудования.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Наиболее распространенный метод цементации стали — цементация в газовом карбюризаторе (печи цементации) при температуре 900 – 950 °С в течение 6 – 10 часов. В Институте разработана автоматическая система контроля и управления процессом газовой цементации. Отличительной особенностью данной системы является работа без использования эндогенератора. Необходимые химические превращения в смеси природного газа и воздуха осуществляются непосредственно в рабочем пространстве цементационной печи благодаря наличию каталитических свойств у жаропрочной реторты, а также благодаря предварительному смешению газовой смеси в специально разработанном компактном смесителе.

Автоматическая система контроля и управления процессом газовой цементации для комплекса электропечей СШЦ-8.16/10 (далее – система управления) используется в технологическом процессе газовой цементации стальных деталей и предназначена для регулирования углеродного потенциала в рабочем пространстве печи.

В состав системы управления входят: шкаф управления; блок подготовки сжатого воздуха и проб.

## Характеристики технологии:

|                                                   |            |
|---------------------------------------------------|------------|
| ○ установленная мощность                          | 1,0 кВт    |
| ○ напряжение питания                              | 230 В      |
| ○ диапазон регулирования углеродного потенциала   | 0,6 – 1,2% |
| ○ диапазон измерений концентрации CO <sub>2</sub> | 0 – 10%    |
| ○ диапазон измерений концентрации CO              | 0 – 30%    |
| ○ диапазон измерений концентрации CH <sub>4</sub> | 0 – 10%    |

## ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ

- исключение из процесса дорогостоящего оборудования (эндогенератор, газоприготовитель)
- экономия на эксплуатационных затратах (мощность нагревателей эндогенератора ~ 20 кВт и выше, данная система потребляет 1 кВт)
- экономия на периодическом обслуживании (катализатор)
- возможность управления качеством цементации (управление углеродным потенциалом)



Система управления, работающая в комплексе с двумя цементационными печами

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ на полезную модель № 7577 от 30.10.2011 «Устройство автоматического регулирования температуры в газопламенной печи».

Патент РБ на изобретение № 16481 от 30.10.2012 «Способ и устройство для управления процессом горения в промышленной газопламенной печи».

Патент РБ на изобретение № 21079 от 2017.06.30 «Способ и устройство для создания контролируемой атмосферы в муфельной печи сопротивления в процессе термообработки металлических изделий».

Патент РБ на полезную модель «Автоматизированная система контроля и управления газовой цементацией стальных изделий в шахтной электрической печи» (заявка № u20190226 от 14.08.2019).

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

При разумной стоимости самой системы управления возможна быстрая модернизация большинства старых печей цементации.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Разработка и изготовление системы контроля и управления процессом газовой цементации под требования заказчика на договорной основе. При передаче технологии предоставляется поддержка: техническая документация, научно-техническое сопровождение.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович).  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

## ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ФИНИШНОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Институт имеет мировой приоритет в области технологий обработки ответственных деталей, основанных на управляемом изменении свойств магнито-реологической полировальной жидкости (МРПЖ) под воздействием магнитного поля.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

При обработке деталей МРПЖ используется в качестве рабочего инструмента, который воздействует на обрабатываемый материал. На основании экспериментальных данных и моделирования процесса уноса материала определяются режимы полирования и формообразования, разрабатываются программы автоматизированной обработки, которые реализуются на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).



Разработаны и изготавливаются под заказ:

### 3-5 КООРДИНАТНЫЕ СТАНКИ С ЧПУ ДЛЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ОСНОВАНИЕМ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ:

- Станок УМП1 для обработки изделий 20 – 300 мм
- Станок УМП2 для обработки изделий 200 – 600 мм
- Станок УМП3 для обработки изделий 300 – 800 мм
- Станок УМП4 для обработки изделий 400 – 1500 мм



### 1-2х КООРДИНАТНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ДОУКОМПЛЕКТОВАНИЯ СТАНКОВ И КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ:

- Модуль МРП1. Диаметр рабочего колеса 135 мм. Предназначен для обработки изделий до 300 мм
- Модуль МРП2. Диаметр рабочего колеса 160 мм. Предназначен для обработки изделий 200 – 600 мм
- Модуль МРП3. Диаметр рабочего колеса 200 – 240 мм. Предназначен для обработки изделий 400 – 1500 мм
- Модуль МРП4. Диаметр рабочего колеса 350 мм. Предназначен для обработки изделий 800 – 2500 мм и более.

## **МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛИРОВАЛЬНЫЕ ЖИДКОСТИ НА ВОДНОЙ И БЕЗВОДНОЙ ОСНОВАХ:**

- Жидкость МРПЖ1 — для обработки изделий из кварца, ситалла, церодура, карбида кремния и др.
- Жидкость МРПЖ2 — для обработки изделий из оптического стекла К8 и др.
- Жидкость МРПЖ3 — для обработки изделий из водорастворимых кристаллов KDP, ВВО и др.
- Жидкость МРПЖ4 — для обработки изделий из немагнитных нержавеющей сталей, сплавов на основе алюминия, меди, никеля и титана.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

Станки, модули и МРПЖ позволяют проводить автоматизированную обработку плоских, сферических и асферических поверхностей уникальных изделий с точностью формы RMS до  $\lambda/150$  и шероховатостью поверхности Rq до 1Å. За счет использования станков с ЧПУ обеспечивается автоматизация процесса, сокращается время обработки и повышается качество продукции.

## **СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ**

Технологии и оборудование для магнитореологической обработки внедрены и используются в ряде научно-производственных организаций Российской Федерации, Республики Беларусь, Китайской Народной Республики и стран Ближнего Востока для выпуска как единичной, так и серийной продукции. В настоящее время разрабатывается гамма современных станков и установок с ЧПУ, в том числе на базе многокоординатных промышленных роботов, для шлифования, тонкого шлифования и полирования с использованием традиционного алмазного инструмента и полировальных абразивных составов.

## **СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ**

По данному направлению Институтом получено более 15 патентов и авторских свидетельств, в том числе Патент РБ № 21104 (2013); Патент РФ № 2569877 С1 (2015) и Евразийский патент № 024869 (2016).

## **ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Промышленная реализация технологии не требует создания вакуума и использования химически агрессивных веществ. Физические факторы (энергия, шум, излучение и иные) не превышают нормативов допустимого воздействия.

## **ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА**

Изготовление оборудования под требования заказчика в зависимости от типа и номенклатуры обрабатываемых оптических и полупроводниковых деталей; совместное предприятие по выпуску изделий и оборудования. Поставка технологии и оборудования под ключ заказчику с дальнейшим сопровождением процесса освоения и использования оборудования.

## **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория высокоточной обработки поверхности (заведующий — кандидат технических наук, доцент Худoley Андрей Леонидович).

+375(17)248-42-35, [khudoley@hmti.ac.by](mailto:khudoley@hmti.ac.by)

## ГЕНЕРАТОР ВОДОРОДА НА БОРОГИДРИДЕ НАТРИЯ

Водород является энергоемким и экологически чистым энергоносителем, однако его использование связано с трудностями безопасного хранения и транспортировки. Исключить эти проблемы позволяет генерирование водорода непосредственно на месте использования, в портативных генераторах – топливных элементах.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

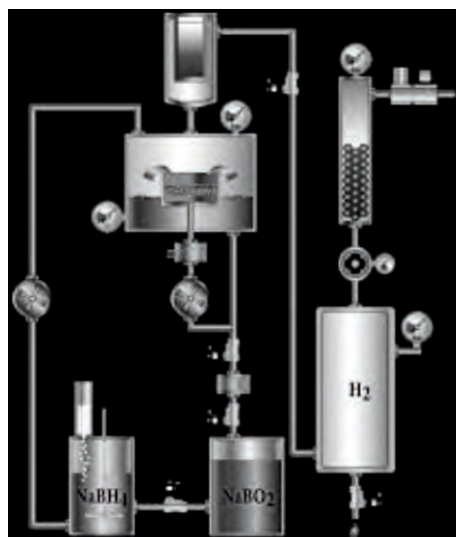
В основе разработанной технологии лежит каталитический гидролиз борогидрида натрия ( $\text{NaBH}_4$ ), который хранится в безводном сухом виде. В качестве растворителя  $\text{NaBH}_4$  используется насыщенный при комнатной температуре раствор метабората натрия  $\text{NaBO}_2$ . Катализатор собственного производства обеспечивает оптимальную скорость гидролиза при проведении процесса по циркуляционной схеме. Температура в рабочем растворе поддерживается на уровне  $145 - 153^\circ\text{C}$ , что позволяет осуществлять процесс гидролиза  $\text{NaBH}_4$  с высокой скоростью.

Каталитический реактор представляет собой цилиндр диаметром 150 мм, высотой 250 мм.

Запуск генератора водорода осуществляется электрическим нагревателем, встроенным в тракт подачи раствора в каталитический блок для его предварительного нагрева. Такое решение является достаточно простым и управляемым. Время старта оценивается в несколько минут. Нагреватель изготовлен на базе трех одинаковых калильных свечей марки Bosh, мощность 300 W каждая. Такое решение обосновано использованием естественного для топливных элементов (и автомобиля) низковольтного питания 12 В. Рабочий раствор состоит из гранулированного безводного  $\text{NaBH}_4$  и насыщенного при комнатной температуре раствора  $\text{NaBO}_2$ .

Для реализации реакции гидролиза раствор  $\text{NaBH}_4$  прокачивается через каталитический блок. Минимально необходимая скорость гидролиза зависит от длительности таких операций, как слив отработанного раствора  $\text{NaBO}_2$ , приготовление и подача свежего раствора  $\text{NaBH}_4$ .

Контроль работы генератора водорода и управление параметрами, влияющими на ход технологического процесса, осуществляется разработанной компьютерной программой. Программа обеспечивает динамическое отображение в числовом и графическом виде информации о температурах раствора и газа в реакторе, давления в реакторе, ресиверах высокого и низкого давления; контроль и управление



расходом водорода на выходе из реактора. Осуществляется управление работой нагревателя для обеспечения технологических режимов.

### **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

В конструкции генератора водорода использована инновационная циркуляционная система, позволяющая использовать менее эффективные, но дешевые катализаторы без драгметаллов, таких как платина, палладий и др. Получаемый водород насыщен только парами воды, поэтому его можно подавать в анодное пространство топливного элемента без дополнительной очистки и увлажнения.

### **ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

Новая технология и конструкция.

### **СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ**

Экспериментальный образец. Имеются результаты экспериментальных исследований.

### **СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ**

Патент РБ № 7854 от 2011.12.30

«Установка для получения водорода из раствора соли гидрида металла».

### **ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ**

Генератор может найти применение в качестве источника водорода для топливных элементов.

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Изготовление и передача генераторов на договорной основе. Совместное предприятие. Лицензирование.

### **ПОДДЕРЖКА, ПРЕДОСТАВЛЯЕМАЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Техническая документация. Услуги персонала.

### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория математического моделирования (заведующий — кандидат физико-математических наук Шабуня Станислав Иванович).

+375(17)378-22-10, [stas@itmo.by](mailto:stas@itmo.by)



# ВИБРОЗАЩИТА МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ДЕМПИРУЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Республика Беларусь известна своими предприятиями по выпуску большегрузных транспортных средств, поэтому создание конкурентоспособной продукции в области машиностроения, в частности, для большегрузных объектов специального назначения, является актуальной задачей. Эта задача непосредственно связана с решением проблем виброзащиты водителя и перевозимых грузов. Традиционно используемые упругие и демпфирующие пассивные системы поддрессирования статичны и в большегрузных машинах с низкой собственной частотой колебаний не обеспечивают требуемую виброзащиту. Перспективным направлением создания активных систем вторичного поддрессирования является применение в гидравлических амортизаторах электро- и магнитореологических демпфирующих жидкостей (ЭРЖ и МРЖ) с вязкостью, радикально (на несколько порядков) изменяемой внешними полями. Их применение связано с разработкой конструкций специальных запорных устройств – дросселей (клапанов) амортизаторов, интенсивность полей в которых управляется электронными устройствами адаптивно условиям эксплуатации транспортного средства.



Совместно с машиностроительными предприятиями ОАО «Минский тракторный завод» и ОАО «Минский завод колесных тягачей» (ОАО МЗКТ), а также с Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси в Институте созданы конструкции амортизаторов, позволяющие управлять величиной сил сопротивления демпфирующей жидкости. Разработаны эффективные составы жидкостей и электронные системы управления интенсивностью электрических и магнитных воздействий.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

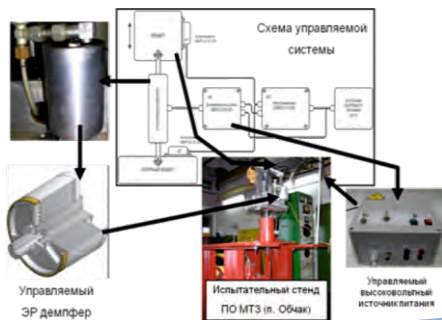
### СИСТЕМА ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ АМОРТИЗАЦИИ СИДЕНЬЯ ВОДИТЕЛЯ

(на примере кресла водителя трактора «Беларусь»)

На основе физико-математической модели и расчета колебательной системы транспортного средства сельскохозяйственного назначения создана система автоматизированного управления и электронный блок управления параметрами колебаний динамически нагруженных масс при использовании электрочувствительных демпфирующих жидкостей (ЭРЖ) с возможностью управления их вязко-упругими параметрами в проточном клапане (слоисто-цилиндрическая конструкция) амортизатора.

Эффективность демпфирования собственных колебаний возрастает в 3 раза.

Автоматическое гашение вынужденных гармонических колебаний в следящем режиме в диапазонах изменения амплитуд колебаний 3 - 15 мм и частот 1 - 10 Гц показало увеличение в 5 раз демпфирующих усилий ЭРЖ в амортизаторе.



### ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМЫЙ ДЕМПИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ АДМ-1

Показатели работоспособности материала (седиментационная стабильность, степень демпфирования, температурная устойчивость) превышают известные аналоги в несколько раз. Утверждены Технические условия и Технологический регламент на материал. Разработана конструкторская документация электро-реологического амортизатора, определены алгоритмы управления электрическим полем.

## МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ АМОРТИЗАТОРЫ ДЛЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Созданы конструкции амортизаторов большегрузных транспортных средств (ТС) с дросселем конического типа, позволяющим управлять величиной поля с помощью изготовленного блока управления в зависимости от изменения механической нагрузки. Создана эффективная рецептура магнитоуправляемых демпфирующих жидкостей (МРЖ).

Результаты испытаний в ОАО МЗКТ показали увеличение силы сопротивления амортизатора в поле до 15,5 кН. В составе системы шасси двухосного ТС (ОАО МЗКТ) проведены исследовательские полевые испытания адаптивных амортизаторов при движении по асфальтовой, грунтовой и гравийной дорогам. Установлено уменьшение вибронагруженности элементов транспортного средства до 30%.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработаны: Технические условия и Технологический регламент изготовления магнитоуправляемой демпфирующей жидкости; конструкторская документация (КД) электронного блока управления; КД амортизатора с магнитоуправляемым дросселем, Руководство по эксплуатации, программа и методика испытаний адаптивных амортизаторов в составе шасси.



Амортизаторы с магнитным управлением (внешнее и внутреннее расположение) на силовых испытательных стендах ОАО МЗКТ



Испытательная машина



Амортизатор с магнитным управлением

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА АМОРТИЗАТОРОВ (ЭРЖ, МРЖ)

Управляемость вторичным подрессориванием адаптивно механической нагрузке, снижение уровня вибронагруженности на водителя и грузы.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ № 3587, №4592, №6710, №6912, №7632, № 9137.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Выполнение работ на договорной основе, научно-техническое сопровождение работ.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория реофизики и макрокинетики (заведующий — доктор технических наук, профессор Коробко Евгения Викторовна).

+375(17)350-13-61, [evk@hmti.ac.by](mailto:evk@hmti.ac.by)

# ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ С УЛУЧШЕННЫМИ СОСТАВАМИ КЛЕЕВЫХ И ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

Технологии изготовления облицовочных и композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками на основе термомеханического модифицирования древесины мягколиственных пород, методики их применения в производстве, сопутствующие материалы – клеи и защитные покрытия с формирующими добавками, станки для уплотнения шпона – разработаны в кооперации с деревообрабатывающими предприятиями республики и Белорусским государственным технологическим университетом.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Способ улучшения эксплуатационных свойств древесины мягколиственных пород при термообработке и прессовании материала разработан для изготовления тонких пластов облицовочного шпона, слоев фанеры, паркетных поверхностных слоев, и впервые - поверхностных слоев цельной древесины, для придания требуемых потребительских характеристик. Преимущества: увеличение плотности древесины, уменьшение пористости, улучшение физико-механических характеристик (твердость, износостойкость, эластичность, ударная прочность), сокращение времени процесса сушки.

Новый состав лака для мебельного производства характеризуется улучшенными показателями (стойкость к пятнообразованию, удару, истиранию, контактная теплостойкость) и декоративными характеристиками (показатели цвета, гладкости, прозрачности).

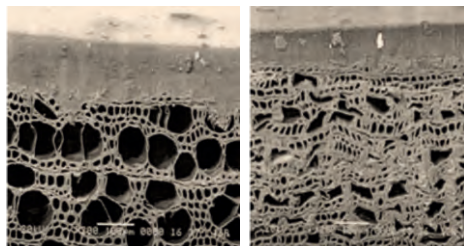
Модифицирующие нанодобавки в составах клеев, используемых при облицовке мебельных изделий термоуплотненным шпоном и при склеивании пластов фанеры, паркета, элементов строительных изделий приводят к увеличению прочности клеевого соединения на 20-25 %, повышению водостойкости древесины в 3 - 4 раза, снижению содержания формальдегида до 4,2 мг/100 г, что соответствует Европейским стандартам. В составе бумаги и полиграфического картона минеральные добавки, полученные из отходов производств фосфорных удобрений (ОАО «Гомельский химический завод»), обеспечивают улучшение основных эксплуатационных показателей (белизна, непрозрачность, писчие свойства), а также повышение показателя гладкости на 35 - 60% и степени удержания на 23 - 25%. Замещение традиционного наполнителя (каолин) способствует уменьшению или полному отказу от использования импортного сырья, решению проблемы утилизации отходов.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Замена импортируемой дорогостоящей древесины твердолиственных пород модифицированной термоуплотнением древесины мягколиственных пород, добываемой в Беларуси; высокая экологичность клеевых составов в изделиях; экономия средств за счет сокращения времени технологического процесса и уменьшения количества защитно-декоративных покрытий; повышенные показатели прочности изделий из модифицированной древесины.

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ 17706 ВУ (2013) Клеевая композиция для древесины (варианты), Патент РБ 19797 ВУ (2016) Прокатный станок для уплотнения шпона, Патент РБ 20888 ВУ (2017) Станок для уплотнения полосы тонкомерной древесины



Утверждены технологические регламенты изготовления: композиционного материала; уплотненного альпи-шпона; улучшенного состава клеевой композиции; фанерной продукции с разработанными клеевыми составами; столлярно-строительных изделий; конструктивных элементов мебели из древесины мягколиственных пород с улучшенными физико-механическими показателями; а также формирования лакокрасочных покрытий и облицовки деталей

сложного профиля уплотненным шпоном.

Утверждены технические условия (ТУ): ТУ ВУ 100354659.095-2011 «Защитно-декоративные материалы с нанодобавками»; ТУ ВУ 100354659.085-2010 опытная партия «Поливинилацетатная дисперсия модифицированная (ПВАД-М)»; ТУ РВ 100354659.000-200.100-2012 «Поливинилацетатная дисперсия модифицированная (ПВАД-МТ)»; ТУ РВ 100354659.000-200.101-2012 «Модифицированный лак МАВ АУ -2122».



Концерном «Беллесбумпром» утвержден официальный нормативный документ «Технология изделий из древесины». В 2-х ч. Часть 1. Типовые технологические режимы. – Минск: БГТУ, 2010. - 299 с., рекомендуемый для всех деревообрабатывающих предприятий республики.

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Технология термомеханического модифицирования древесины и сопутствующие разработки освоены в серийном и мелкосерийном производстве на предприятиях деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь. Выпущено изделий на сумму 7 302 859,9 руб. (цены 2018 г.): мебель с элементами сложного профиля (ЗАО «Пинскдрев», ЗАО «Молодечно-мебель»); детская мебель с экологическими показателями, фанера строительного назначения (ОАО «Речицадрев»); партии дверей (ООО «Фабрика дверей «Лоза»); двухслойная паркетная доска (Гомельский филиал «Паркетный завод»); партия деревянных каркасных домов (филиал «Домостроение» РУП «Завод газетной бумаги»); партии бумаги и картона (Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин»).

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

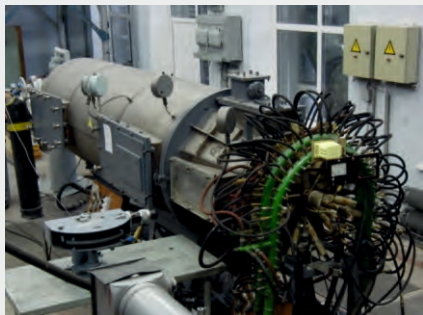
Выполнение работ на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория реофизики и макрокинетики (заведующий — доктор технических наук, профессор Коробко Евгения Викторовна).

+375(17)350-13-61, [evk@hmti.ac.by](mailto:evk@hmti.ac.by)

# ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОРЦЕВОГО ХОЛЛОВСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ПЛАЗМЫ



При входе космического аппарата (КА) в атмосферу Земли или других планет его лобовая поверхность подвергается интенсивным конвективным и радиационным нагрузкам от высокотемпературного ударного слоя. Для возвращаемых КА характерно быстрое изменение скорости и высоты полета, что приводит к резкому возрастанию теплового воздействия на его конструкцию. С ростом скорости входа возрастает величина лучистой составляющей теплового потока, и при достаточно больших скоростях процессы переноса излучения становятся

решающими. Излучение вносит вклад в аэродинамический нагрев, может изменить сам механизм разрушения материала. При этом интенсивное тепловое воздействие приходится на высоты с разреженной атмосферой и с обтеканием КА чистой плазмой, сопровождаемым неравновесными физико-химическими превращениями. Именно для таких условий должны отрабатываться экспериментальные методы испытания теплозащитных материалов (ТЗМ). Торцевой холловский ускоритель плазмы (ТХУ), созданный в Институте (на фото), с успехом используется для решения подобных задач.

## Характеристики торцевого холловского ускорителя плазмы

- максимальная мощность 1200 кВт
- максимальная мощность разряда 700 кВт

## Максимальная индукция магнитного поля:

- в центре на оси соленоида 3,5 Тл
- в разрядной зоне 2,5 Тл

## Расход газа:

- воздух,  $N_2$ ,  $CO_2$ , He, Ar,  $H_2$  0,1–12 г/с
- тепловой и кинетический КПД 60 – 95%

## Параметры потока воздушной плазмы:

- энтальпия торможения 3 – 500 МДж/кг
- скорость 0,5 – 20 км/с
- число Маха 0,5 – 20
- давление в зоне торможения 0,01 – 1,0 атм

## Плотность теплового потока к лобовой поверхности модели:

- суммарный  $1 - 400 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>
- лучистый  $0,5 - 200 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>

## Температура электронов:

- в свободной струе 0,5 – 2,0 эВ
- в сжатом слое 1,0 – 4,0 эВ

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Торцевой холловский ускоритель плазмы способен обеспечить одновременное воспроизведение необходимых параметров: плотность теплового потока, энтальпию торможения (скорость набегающего потока), давление торможения (плотность набегающего потока), число Маха, состав атмосферы. Моделируются реальные условия



Образцы ТЗМ до и после испытаний

обтекания образцов и фрагментов тепловой защиты КА.

Для проведения работ существует техническая база, в состав которой входят источники электропитания, системы водо- и газоснабжения, пульт управления, приборы, предназначенные для контроля рабочих параметров ТХУ. Имеются автоматизированная система измерений и компьютерная система видеонаблюдения и видеозаписи.

Проведение эксперимента осуществляется по нормальной осесимметричной схеме испытания цилиндрических моделей ТЗМ. Образец помещается в водоохлаждаемую державку заданного диаметра, устанавливаемую соосно с укорителем на расстоянии от среза сопла анода, необходимом для получения соответствующих параметров плазмы в рабочих сечениях потока.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

На ТХУ проводятся испытания ТЗМ в потоках воздушной плазмы, моделирующих вход в атмосферу Земли и в потоках плазмы, моделирующих вход в атмосферу Марса. Результаты использовались при создании тепловой защиты для КА и носителей: серии

спускаемых аппаратов «Союз», автоматических аппаратов «Марс», ракетно-космической системы «Энергия-Буран», носители разного класса «Союз», «Протон», Н-1, «Энергия-М» и др. Выполнены испытания композиционной гибкой теплозащиты для спускаемых аппаратов с надувными тормозными устройствами. Результаты реализованы в проектах «Марс-96», «Демонстратор», «Система спасения блока «Фрегат».

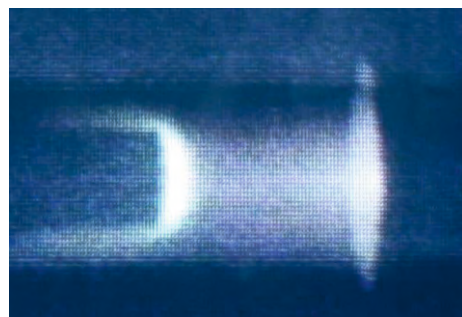


Фото зоны торможения

### СТАТУС ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Авторские свидетельства СССР № 103877 и № 1815927.

### ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Выбор оптимальных параметров конструкции ТЗМ для КА, входящих в атмосферу планеты со сверх- и гиперорбитальными скоростями. Проверка работоспособности составляющих компонентов тепловой защиты.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Выполнение НИОК(Т)Р и испытаний на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Отдел электродуговой плазмы (заведующий — кандидат технических наук Савчин Василий Васильевич).

+375(17)397-12-31, [sauchyn@itmo.by](mailto:sauchyn@itmo.by)

# ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ГАЗОВОМ ПОТОКЕ

Институт имеет большой опыт изучения процессов прогрева и абляции теплозащитных материалов (ТЗМ) в высокотемпературных плазменных потоках в широком диапазоне изменения теплосиловых нагрузок.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Созданы методики исследований, оборудование и экспериментальные стенды для испытаний материалов с применением плазмотронов, генерирующих потоки газа с параметрами, моделирующими натурные условия космических полетов. Экспериментальные стенды открытой архитектуры позволяют оснащать эксперимент различными устройствами исходя из поставленных задач. Испытания включают экспериментальную и расчетную диагностику (газодинамическую, оптическую) плазменных потоков, диагностику их взаимодействия с материалами различных классов, анализ результатов и обоснование рекомендаций по улучшению свойств ТЗМ.

**ПЛАЗМОТРОН «ЭДПГ»** с насадком и вставкой для испытания образцов ТЗМ на воздействие касательных напряжений.

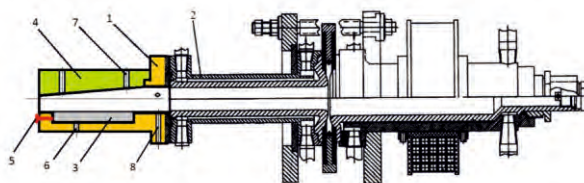


Схема плазмотрона ЭДПГ:

1 – корпус насадка; 2 – плазмотрон;  
3 – образец; 4 – клиновидные вставки для регулирования сечения канала; 5 – винт крепления образца; 6, 7 – отверстия для термпар и измерения давления газа; 8 – отверстия для подачи дополнительного воздуха.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД НА БАЗЕ КОАКСИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ГАЗА** создан для испытаний теплозащиты материалов или сопловых вкладышей при температурах 3000 – 4000 К, сверхзвуковых скоростях истечения рабочего тела и высоких значениях давления торможения газового потока.

**Технические характеристики нагревателя газа коаксиальной схемы:**

- электрическая мощность 500 - 700 кВт
- расход рабочего газа (воздух) до 0,12 кг/с
- энтальпия газового потока 3,5 – 5,5 МДж/кг

Давление в разрядной камере – до 60 атм.  
при испытании втулок; до 25 атм. – при испытании цилиндров диаметром до 20 мм.

## СТЕНД ЛУЧ-2

Основным элементом стенда Луч-2 является комбинированный электродуговой нагреватель газа линейной схемы – плазмотрон ЭДПГ-1,2 с газодинамической и магнитной стабилизацией дугового разряда. Процесс абляции ТЗМ на стенде Луч-2 фиксируется видеокамерой и



регистратором сигналов с записью данных на компьютере.

#### Технические характеристики стенда Луч-2:

|                                                |                                      |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ○ электрическая мощность                       | 1000 – 1500 кВт                      |
| ○ расход рабочего газа (воздух)                | до $120 \times 10^{-3}$ кг/с         |
| ○ давление газа в разрядной камере             | до $30 \times 10^5$ Н/м <sup>2</sup> |
| ○ тепловой поток                               | до 4 кВт/см <sup>2</sup>             |
| ○ давление торможения                          | до 8 атм.                            |
| ○ скорость потока                              | $M \approx 3,5-4$                    |
| ○ скорость подачи образца в процессе испытаний | $4 \times 10^{-3}$ м/с               |

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД НА БАЗЕ ЛИНЕЙНОГО ПЛАЗМОТРОНА ЭДПГ с

газодинамической стабилизацией дугового разряда мощностью до 500 кВт, оборудованный системой подачи дисперсной фазы ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и др. частиц) в плазменный поток, позволяет проводить испытания ТЗМ в гетерогенных потоках при тепловой нагрузке до  $107 \text{ Вт/м}^2$ . На стенде проведены исследования работоспособности образцов облицовочной плитки для космического комплекса «Буря-Энергия» и других ТЗМ в дозвуковых плазменных потоках при энтальпии торможения до 25 МДж/кг.

### СТЕНД НА БАЗЕ ЛИНЕЙНОГО ПЛАЗМОТРОНА С ТОРЦЕВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ создан

для экспериментальной отработки внутренней тепловой защиты конструкционных элементов энергетических устройств. Стенд обеспечивает тепловую нагрузку на исследуемый материал (образцы в виде полых цилиндров) токонесущей плазмой дугового разряда. Тепловая нагрузка на стенку канала определяется давлением в электродуговой камере. Тепловой поток изменяется регулировкой диаметра канала.

### СТЕНД РАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА для определения

теплопроводности ТЗМ позволяет получить сфокусированный пучок лучистой энергии плотностью до 0,6 кВт, диаметром 12 мм и нагревать исследуемый ТЗМ до 1500 – 2500 °С. В качестве источника излучения используется дуговая ксеноновая лампа типа ДКсТ 10000. Потребляемая мощность источника – около 20 кВт. Методика определения теплопроводности основана на решении двумерной обратной коэффициентной задачи теплопроводности с использованием термограмм.

### СТАТУС ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Оборудование и методики относятся к уникальным, созданным в единичных экземплярах для получения данных о свойствах исследуемых объектов.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение испытаний на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

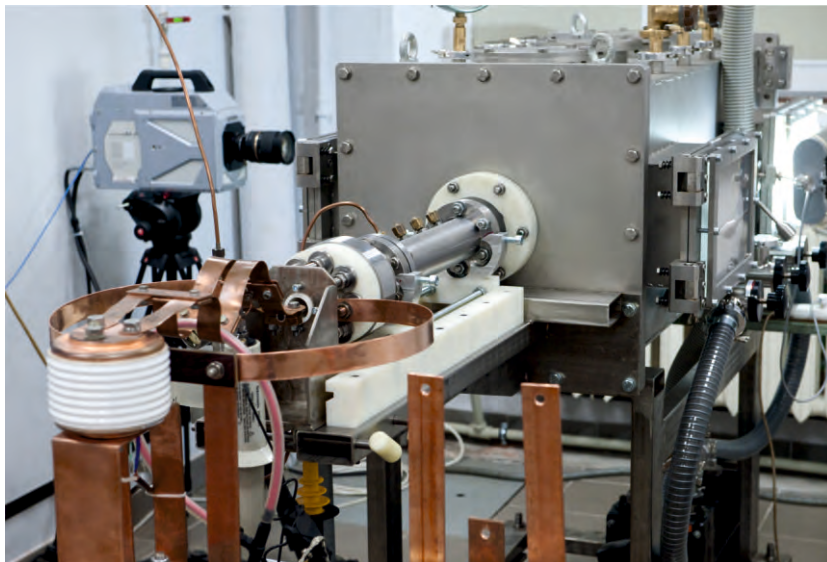
### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физики плазменных ускорителей (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Асташинский Валентин Миронович).

+375(17)356-93-51, [ast@hmti.ac.by](mailto:ast@hmti.ac.by)



## ИСПЫТАНИЯ СТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ УДАРНЫХ НАГРУЗОК НА МАГНИТОПЛАЗМЕННОЙ ЛЕГКОГАЗОВОЙ МЕТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ МБУ-2 (БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ)



Уникальная магнитоплазменная легкогазовая метательная установка (МБУ-2) (баллистическая установка), предназначенная для проведения испытаний различных материалов и конструкций на стойкость к ударному воздействию в условиях вакуума, для испытаний противометеоритной защиты космических аппаратов и изучения процессов высокоскоростного взаимодействия тел.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

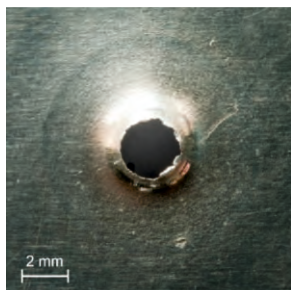
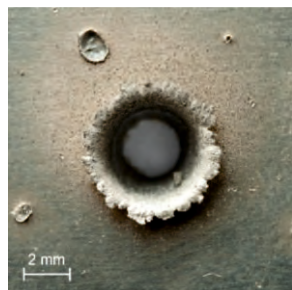
Основным элементом

баллистической установки является метательное устройство оригинальной конструкции, состоящее из канала разгона, легкогазовой секции с поршнем и магнитоплазменного компрессора. В качестве ударников используются шарики диаметром 2,5–5 мм. Баллистическая установка позволяет разгонять ударники до скорости 3 км/с.

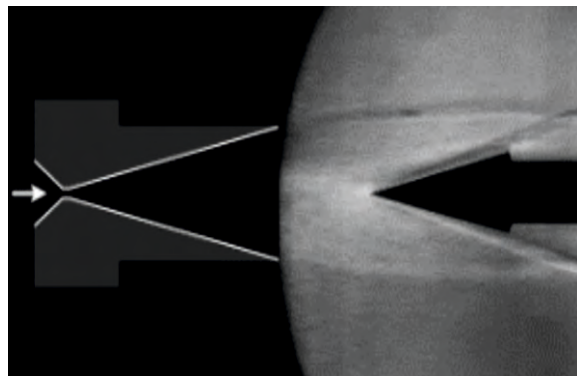
Баллистическая установка оснащена диагностическим комплексом для

изучения процессов взаимодействия одиночных высокоскоростных частиц с различными мишенями, который включает высокоскоростную камеру **Photron Fastcam SA-Z** с максимальной частотой съемки 2,1 млн. кадров в секунду, 4-канальный цифровой осциллограф с полосой пропускания 1000 МГц, электроконтактный времяпролетный датчик скорости метаемых частиц.





Помимо прямого визуального наблюдения, возможно проведение теневой диагностики. Модификация баллистической установки (замена канала разгона соплом Лаваля) позволяет получать гиперзвуковые потоки с целью визуализации и диагностики гиперзвукового обтекания тел.



### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Баллистическая установка введена в эксплуатацию и используется.

Баллистическая установка в республике создана впервые. По сравнению с зарубежными аналогами установка имеет сравнительно небольшие размеры, обладает высокой живучестью, что позволяет существенно снизить стоимость и время проведения баллистических испытаний.

На баллистической установке проведены испытания стойкости образцов теплозащитных покрытий

и многослойных конструкций тепловой защиты десантного модуля проекта «ЭкзоМарс», образцов элементов экранной противометеоритной защиты космических аппаратов, состоящих из дюралюминиевой подложки и композиционного покрытия, пластин из алюминиевых сплавов, полиметилметакрилата и других мишеней.

### ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Авиационная, ракетно-космическая промышленность, энергетика, материаловедение.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

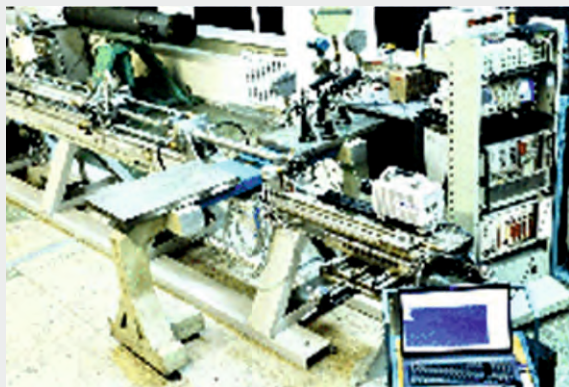
Проведение совместных НИОК(Т)Р на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

# КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКИ РЕАГИРУЮЩИХ СРЕДАХ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ



Предлагаемые Институтом экспериментальные инструменты исследования быстропротекающих процессов в химически реагирующих средах позволяют получать широкий диапазон условий с температурами от 500 К до 5000 К, с характерными временами до 60 мс. Для количественного изучения быстропротекающих процессов, развивающихся при резком изменении термодинамического состояния газа или жидкости, используются установки быстрого сжатия и ударные трубы.

## УСТАНОВКА БЫСТРОГО СЖАТИЯ

Установка быстрого сжатия используется для реализации метода моделирования процесса адиабатического сжатия и воспламенения. Установка реализует один такт сжатия и позволяет исследовать процессы с инертными и реагирующими газовыми смесями, а также с жидкими топливами.

### Технические характеристики:

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| ○ степень сжатия                               | 40        |
| ○ скорость сжатия                              | до 15 м/с |
| ○ время сжатия                                 | до 10 мс  |
| ○ максимальная температура в результате сжатия | 1000 К    |
| ○ максимальное давление                        | 20 атм.   |
| ○ характерное время процессов                  | до 20 мс  |

## УДАРНЫЕ ТРУБЫ

Высокие температуры и плотности как в одномерном движущемся потоке газа за падающей ударной волной, так и в идеальном объеме покоящейся среды за отраженной ударной волной создаются в ударных трубах. Институт располагает трубами с круглым сечением канала (диаметры 25, 28, 50, 76 мм) и прямоугольным сечением канала (50x50, 45x90, 30x120 мм).

### Технические характеристики:

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| ○ длина ударных труб            | до 8 м    |
| ○ характерные времена процессов | до 3-5 мс |
| ○ рабочие температуры:          |           |
| инертные газовые смеси          | до 5000 К |
| химически реагирующие смеси     | до 2000 К |

### Ударные трубы используются для исследования:

- кинетики химических реакций газовых смесей, жидких топлив с температурой испарения до 120 °С
- процессов горения, пиролиза, детонации
- обтекания тел различной геометрии сверхзвуковым газовым потоком
- спектра излучения в газах при высоких температурах



Регистрация процессов осуществляется высокоскоростной видеокамерой **FASTCAM SA-Z** с максимальной частотой 2,1 млн кадров в секунду, разрешением 128х8 пикселей и 2,1 тыс. кадров в секунду с мегапиксельным изображением.

**СПЕКТРОМЕТР HAMAMATSU PHOTONIC MULTI-CHANNEL ANALYZER C10029** позволяет проводить исследование спектра 200-900 нм.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Накоплен опыт в выполнении работ, в частности:

- с научными центрами Российской Федерации: Институтом теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН; Центральным институтом авиационного моторостроения им. П.И.Баранова; Институтом теоретической и прикладной механики им. С.А.Христиановича СО РАН
- при исследовании характеристик горения побочных продуктов, получаемых на ОАО «ПОЛИМИР»
- при разработке алгоритмов в среде MATLAB для определения скоростей потоков генерируемых течений внутри экспериментальных стенов



### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение НИОК(Т)Р на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

## ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ

На экспериментальном стенде реализована уникальная схема оптической визуализации быстропротекающих процессов газовой динамики, включая распространение сверхзвуковых газовых потоков и ударных волн. Система предназначена для проведения исследований в области механики сплошных сред, газодинамики, механики плазмы.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Стенд включает ударную трубу, теневой прибор ИАБ-451, лазерную систему фемтосекундных импульсов и оборудование, регистрирующее параметры газовых потоков – датчики давления и ионизации. Экспериментальные исследования позволяют качественно и количественно оценивать отдельные параметры среды по сечению трубы, а также динамику процесса.

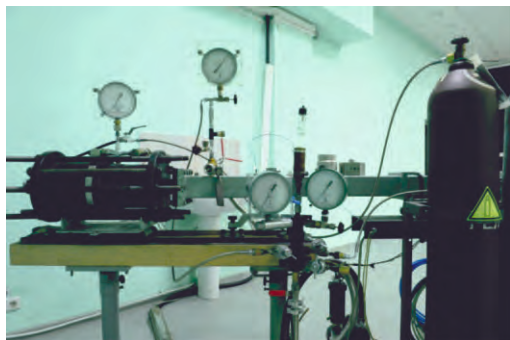


Общий вид экспериментального стенда

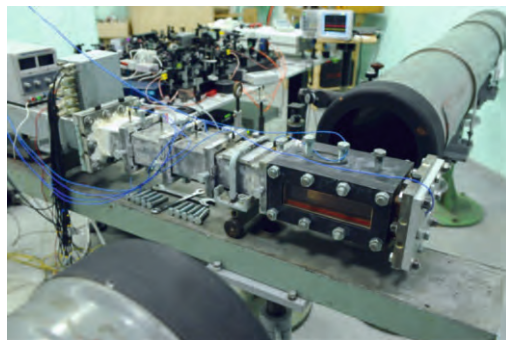
**УДАРНАЯ ТРУБА** (общая длина 8 м, внутреннее сечение медного канала прямоугольное, 90×45 мм) позволяет инициировать различные газодинамические и энергообменные процессы с произвольными параметрами. Для их изучения в измерительную секцию вмонтированы датчики и смотровые окна, через которые оптическое излучение просвечивает газовую среду. Сброс газовой смеси из камеры высокого давления осуществляется с помощью системы электромагнитных клапанов.

**ТЕНЕВОЙ ПРИБОР ИАБ-451**, реализующий шлирен метод визуализации, состоит из освещающей и приёмной частей. В данном экспериментальном стенде измерительная секция ударной трубы помещена между соосными частями теневого прибора. В цилиндрических корпусах частей ИАБ-451 установлены оптомеханические элементы схемы шлирен метода.

**ЛАЗЕР ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ** для подсветки визуализируемых оптических неоднородностей генерирует импульсы длительностью 100 фс, энергия



Камера высокого давления ударной трубы



Измерительная секция ударной трубы  
в поле зрения ИАБ-451

излучения 0,2 мДж. Оптическая схема лазера включает более 100 элементов, расположенных на оптическом столе с размерами 1800×900 мм. Фемтосекундные лазерные импульсы использовались в качестве источника подсветки (лазерный нож) в реализации PIV-метода измерения скорости частиц.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Проведена пробная шлирен-визуализация газовых потоков и фронтов ударных волн.

### СТАТУС ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Некоторые функциональные блоки лазера являются уникальными разработками Института физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси.

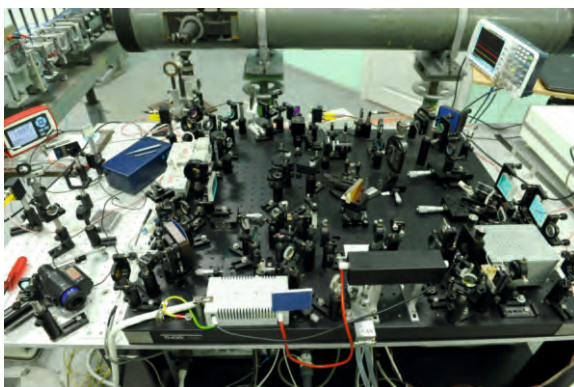
### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение НИОК(Т)Р на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnpiitmo.by](mailto:pavlik@dnpiitmo.by)



Лазер фемтосекундных импульсов

## ТУРБОРЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, СОПРЯЖЕННЫЙ С ИМПУЛЬСНОЙ ДЕТОНАЦИОННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

В области двигателестроения активно ведутся работы по созданию детонационных реактивных двигателей, в которых преобразование химической энергии топлива в кинетическую энергию реактивного движения осуществляется путем сжигания топлива в бегущей детонационной волне. По сравнению с другими схемами организации горения, реализуемыми в существующих реактивных установках (турбореактивных, воздушно-реактивных и ракетных двигателях), детонационное сжигание топлива имеет ряд преимуществ, главное из них – более высокий термодинамический коэффициент полезного действия детонационного цикла.

На основе многолетних исследований в Институте разработаны принципиально новые установки реактивного типа с детонационным сгоранием газообразного и жидкого топлива. Особый интерес представляет комбинированная схема турбореактивного двигателя с импульсным детонационным модулем.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Сущность комбинированной схемы турбореактивного двигателя с детонационным модулем состоит в сочетании двух видов сгорания топлива для получения реактивной тяги: обычное горение со скоростью до 100 м/с и детонационное со сверхзвуковой скоростью (до 2000 м/с и более). Обычное горение осуществляется в турбореактивном двигателе с максимальной тягой 210 Н, детонационное – в детонационном модуле, состоящем из системы питания, камеры смешения и детонационной камеры кольцевого типа. Комбинированный турбореактивный двигатель с детонационным модулем (КТРДИДМ) работает на смесях керосина с воздухом и кислородом. Рабочий процесс в турбинной установке КТРДИДМ осуществляется непрерывно, в детонационном модуле – в циклическом режиме.

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

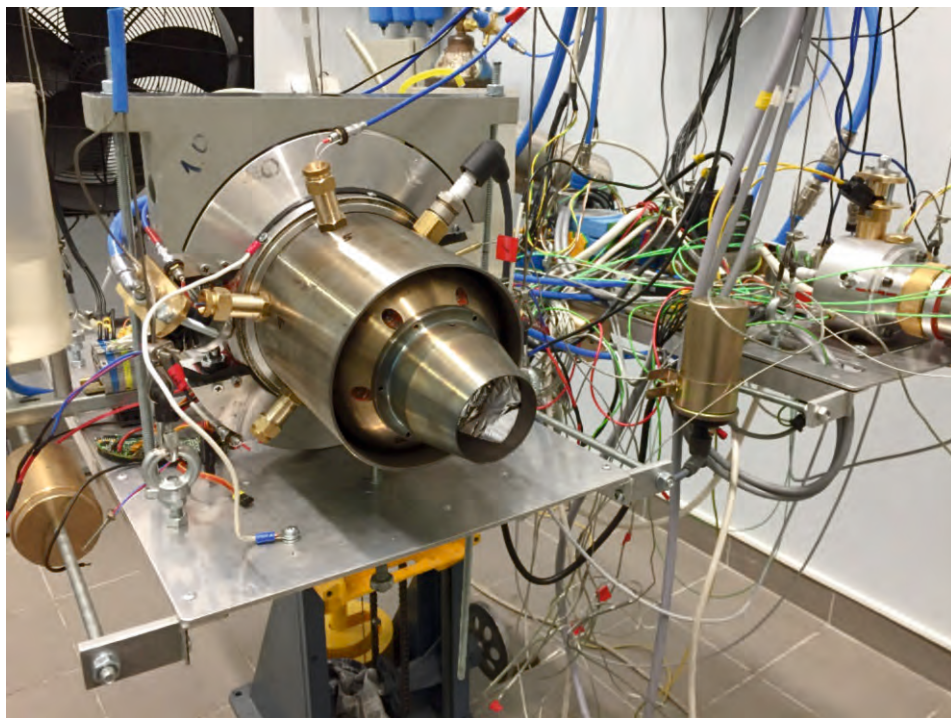
Использование комбинированного сжигания топлива позволяет существенно увеличивать тяговые характеристики (до 20%) и маневренность летательного аппарата. Благодаря особому выполнению детонационного модуля КТРДИДМ с автоматизированной системой управления, величину тяги можно регулировать в широких пределах путем изменения состава горючей смеси (топлива и окислителя), частоты впрысков топлива через форсунки и длительности каждого впрыска.

Разработанный алгоритм рабочего процесса КТРДИДМ позволяет осуществлять требуемое количество дозированных импульсов с заданной частотой и регулировать величину силы тяги в широких пределах, что в совокупности повышает эффективность реактивной установки.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработан опытный образец комбинированного турбореактивного двигателя с детонационным модулем, подвешенный на баллистическом маятнике (на фото). Создана испытательная камера для исследования рабочего процесса КТРДИДМ, оснащенная комплексом управления и контроля, современными устройствами и высокоточной цифровой измерительной аппаратурой.

Успешно проведены испытания опытного образца КТРДИДМ в набегающем потоке со скоростями до 30 м/с. Проводятся экспериментальные исследования рабочего процесса при скоростях воздушного потока до 100 м/с.



Общий вид опытного образца комбинированного турбореактивного двигателя с детонационным модулем

### ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Турбореактивный двигатель с детонационным сжиганием топлива может найти применение на рынке летательных аппаратов: пилотируемых (спортивных и модельных самолетов) и беспилотных (аппаратов мониторинга, тренировочных мишеней, сельскохозяйственных и других аппаратов специального назначения).

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ на изобретение № 20189 от 30.06.2016 «Пульсирующая установка с детонационным сгоранием топлива».

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Проведение самостоятельных и совместных научно-исследовательских работ на договорной основе. Разработка детонационного реактивного двигателя по техническому заданию заказчика.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

## УСТАНОВКА ДЛЯ ФИНИШНОЙ ТЕРМОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И ПЛАСТИКОВ

Проблема технологической очистки деталей высокоточных механизмов от заусенцев, микрочастиц и микроликвидов актуальна для всех отраслей машиностроения. Рассматривая различные виды используемой в настоящее время финишной обработки материалов, можно сделать вывод, что только два из них не приводят к дополнительным микрозагрязнениям при обработке – это электрохимический и термоимпульсный методы. Однако электрохимический метод позволяет удалять только загрязнения и дефекты на металлах, в то время как термоимпульсная обработка применима к металлам, пластмассам, керамике и композитным материалам и позволяет улучшить качество изделий, их рабочий ресурс, безопасность и повысить конкурентоспособность изделий на рынке. При термоимпульсной финишной обработке деталей удаление заусенцев и технологических загрязнений производится за счет кратковременного (до 20 мс) теплового воздействия высокой плотности. Горение топлива происходит в детонационном режиме, что существенно интенсифицирует процессы теплообмена между деталью и продуктами сгорания. Отвод продуктов сгорания производится в горячем состоянии, что предотвращает осаждение окислов и удаленных материалов на обрабатываемые поверхности.



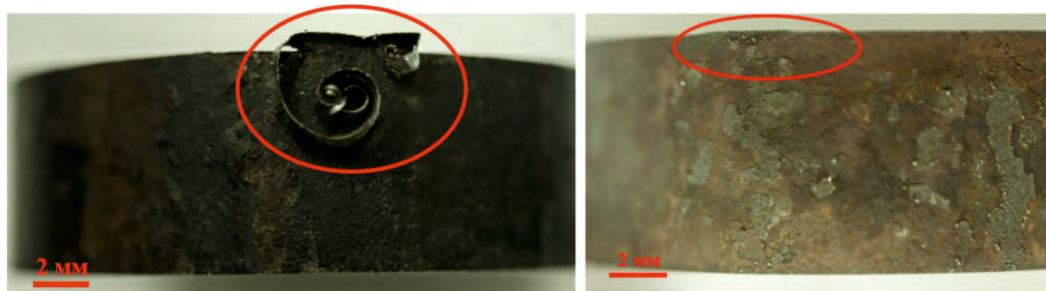
### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Для технологической очистки деталей высокоточных механизмов от заусенцев, микрочастиц и микроликвидов в Институте создана лабораторная установка финишной термоимпульсной обработки металлов и пластиков.

#### Технические характеристики установки:

|                                           |                 |
|-------------------------------------------|-----------------|
| ○ габаритные размеры                      | 750x750x2600 мм |
| ○ масса                                   | 3200 кг         |
| ○ размер цилиндра камеры обработки        | 200x200 мм      |
| ○ объем камеры обработки до запираания    | 25,1 л          |
| ○ объем камеры обработки после запираания | 6,3 л           |
| ○ максимальное давление                   | 600 атм         |
| ○ время воздействия                       | 20 мс           |
| ○ температура процесса                    | 2500 – 3500 °C  |

Обработка деталей методом термоимпульсного воздействия на поверхность механообработанных изделий осуществляется внутри цилиндрической камеры обработки путем генерирования в ней термоимпульса взрывом горючей газовой смеси. На тарель, установленную на зажимном гидравлическом устройстве, помещают обрабатываемые изделия и вдвигают ее в камеру. При этом происходит запираание камеры обработки. Затем камера вакуумируется с помощью насоса и в нее подаются



Удаление заусенца со стального образца.

Параметры обработки:  $\varphi = 1$  ( $O_2 + CH_4$ ), начальное давление  $P_0 = 8$  атм, расчетная температура  $3630^\circ C$ , давление в пике  $P = 129$  атм

рабочие газы – горючее и окислитель. Далее гидравлическое зажимное устройство сдвигает на 103 мм подвижную часть камеры сгорания вместе с тарелью относительно неподвижного поршня камеры сгорания. После этого происходит запираение системы подачи газов и объем камеры сгорания уменьшается с 25,1 до 6,3 л, а давление в ней увеличивается в 3,65 раза относительно начального.

Усилие замыкания рабочей зоны составляет 190 т, что позволяет достигать начального рабочего давления в запертой камере обработки от 3 до 20 атм. После этого система инициации горения осуществляет поджиг рабочей горючей смеси; система контроля регистрирует давление в камере обработки и осуществляет запись измерений цифровым осциллографом.

После откачки продуктов горения в вакуумную бочку гидравлическое зажимное устройство опускает тарель с обработанными образцами.

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- финишная обработка металлов от инородных включений, дефектов поверхности, заусенцев
- удаление облоя с пластиковых деталей
- модификация поверхности обрабатываемых деталей (повышение твердости, уменьшение шероховатости)

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение НИОК(Т)Р на договорной основе. Разработка оборудования для термоимпульсной финишной обработки деталей по техническому заданию заказчика.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375 (17)378-22-03, e-mail: [pavlik@dnpi.itmo.by](mailto:pavlik@dnpi.itmo.by)

## ПИРОМЕТР ИМПУЛЬСНЫЙ ФОТОЭМИССИОННЫЙ

В разработке опытного образца импульсного фотоэмиссионного пирометра реализован метод измерения температуры, позволяющий бесконтактно, с временным разрешением до 1 мкс, осуществлять регистрацию температуры в быстропотекающих тепловых процессах, скорость изменения которой может достигать  $10^8$  К/с.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Пирометр импульсный фотоэмиссионный (ПИФ) предназначен для бесконтактных



измерений высоких температур в быстропотекающих тепловых процессах в условиях неопределенности коэффициента теплового излучения. Прибор позволяет регистрировать температуру объекта по его излучению в видимом спектральном диапазоне.

Оптическая система ПИФ позволяет регистрировать излучение и измерять температуру объекта, расположенного на расстоянии до 2 м; а использование гибкого световода обеспечивает измерение температур в труднодоступных объемах. С помощью ПИФ возможно отслеживать динамику

температуры в процессах длительностью от 10 мкс, с временным разрешением до 1 мкс.

### Технические характеристики ПИФ:

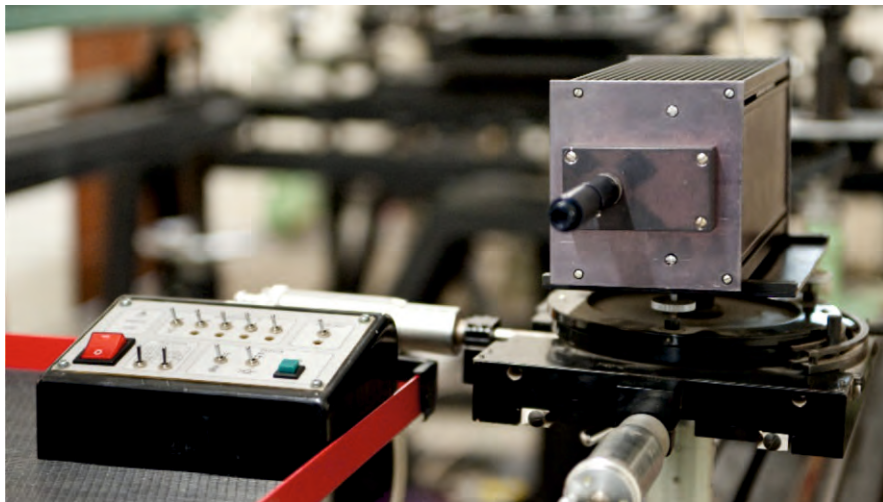
|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| ○ диапазон измеряемых температур | 1500÷2800 К |
| ○ временное разрешение           | до 1 мкс    |
| ○ рабочий спектральный диапазон  | 400÷800 нм  |

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- скоростные измерения температур теплонапряженных узлов двигательных установок и продуктов сгорания топлива при оптимизации и контроле процессов сгорания
- измерение температуры летящих нагретых микрообъектов
- измерение температуры плавления металлов

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

С помощью импульсного фотоэмиссионного пирометра исследована динамика изменения температуры наночастиц углеродной сажи, образующихся при пиролизе этилена за отраженной ударной волной, получена информация по температурам на различных стадиях гетерогенного горения микрочастиц железа в кислороде, позволившая описать закономерности и предложить возможные механизмы указанного процесса.



Опытный образец импульсного фотоэмиссионного пирометра на стенде

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Способ измерения температуры: а.с. СССР №578569, Каспаров К.Н., Терпиловский А.И. // Бюл. изобр. – 1977. – №40.

Устройство для измерения температуры: а.с. СССР №756226, Каспаров К.Н., Терпиловский А.И. // Бюл. изобр. – 1980. – №30.

Фотоэмиссионный пирометр для измерения температуры поверхности нагретого тела: пат. 10993 РБ МПК(2006) G01J 5/10 / , А.Б. Краснобаев, К.Е. Белявин, К.Н. Каспаров, Д.В. Минько, О.О. Кузнечик; заявитель: Институт порошковой металлургии, Институт физики имени Б.И. Степанова – № а 20050749; заявл. 30.04.2007; опубл. 30.08.2008 // Нац. центр интеллектуальной собственности.

Фотоэмиссионный пирометр: патент на полезную модель 5636 Респ. Беларусь, МПК(2006) G01J 5/10 / К.Н. Каспаров, Л.И. Белозерова, А.В. Дайнеко, Е.А. Баранышин; заявитель: Институт физики имени Б.И. Степанова – № и 20090257; заявл. 2009.03.30 // Нац. центр интеллектуальной собственности. – 2009. – №5

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение совместных НИОК(Т)Р. Услуги персонала.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫЕ

Институт имеет опыт проведения НИР в области газовых разрядов преимущественно атмосферного давления и их применения для обработки поверхности, нанесения покрытий, стимуляции горения, производства наночастиц и т.д., а также в областях СВЧ-нагрева, спектральной пирометрии, ускорителей электронов и др.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Для возбуждения разрядов разрабатываются, производятся и используются высоковольтные генераторы, как с синусоидальным выходным напряжением в широком частотном диапазоне (от ультразвука до СВЧ), так и импульсные с длительностью импульса вплоть до наносекунд.

Так, разработан и изготовлен экспериментальный образец блока питания и управления (БПУ-Э) ускорителя электронов и источника рентгеновского излучения на энергии до 7,5 МэВ малогабаритного импульсного бетатрона (МИБ). МИБ является источником высокоэнергетического тормозного излучения для радиационного неразрушающего контроля. БПУ-Э включает 14 различных модулей, которые выполняют функции, необходимые для инжекции, контракции, разгона, свода электронов со стационарной орбиты и направления их на мишень для создания тормозного рентгеновского излучения.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Генераторы и согласованные системы с их использованием разработаны и изготовлены для конкретных задач в диапазоне мощностей 0,1 – 2 кВт.

Имеется опыт поставок оборудования в Россию, США, Европу.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ: № 10202 от 30.08.2014; № 7128 от 30.04.2011



Вид панелей БПУ-Э: передней (слева) и задней (справа).

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение совместных НИОК(Т)Р. Разработка и изготовление приборов под требования заказчика на договорной основе. Техническая документация. Научно-техническое сопровождение.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Отдел быстропротекающих процессов (заведующий — Плевако Федор Васильевич).

+375(17)357-21-06, [fplevako@itmo.by](mailto:fplevako@itmo.by)

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Среди технологий нанесения защитных металлопокрытий электродуговая



металлизация отличается широкими возможностями по сравнению со всеми другими известными способами. С применением технологии можно восстанавливать детали машин широкой номенклатуры, обеспечивать долговременную антикоррозионную защиту различных металлоконструкций алюминием и цинком, получать покрытия из псевдосплавов, например, из алюминия и стали, меди и стали, бронзы и стали, а также покрытия цветными металлами (медью, бронзой, латунью, алюминием).

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Стоимость восстановленных деталей не превышает 0,4 стоимости производства новых.

Срок эксплуатации восстановленных изделий соответствует сроку эксплуатации новых деталей.

Твердость восстановленного слоя 43–45 HRC.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Технология реализована в производстве на одном из предприятий. Оборудование находится в эксплуатации в Институте. Имеются результаты экспериментальных исследований.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Промышленная эксплуатация оборудования на договорной основе. Техническая документация. Организация участка по восстановлению деталей машин и механизмов на предприятии заказчика и обучение персонала работе на предлагаемом оборудовании.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория физики плазменных ускорителей (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Асташинский Валентин Миронович).

+375(17)356-93-51, [ast@hmti.ac.by](mailto:ast@hmti.ac.by)

## ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ ПЛАЗМОТРОНЫ

Особенностями плазмотрона как инструмента современной технологии является использование сверхвысоких температур (3 000 – 10 000 К), простое и оперативное управление технологическими параметрами (мощность, расход газа), быстрый пуск и установление рабочего режима плазмотрона.

Изначально в Институте плазмотроны разрабатывались для нагрева газов в аэродинамических трубах при изучении полетов летательных аппаратов с гиперзвуковыми скоростями и моделировании режимов входа космических аппаратов в атмосферу Земли и других планет. Впоследствии стали разрабатываться плазмотроны для реализации технологических процессов (плазмохимических технологий) в интересах различных отраслей народного хозяйства.

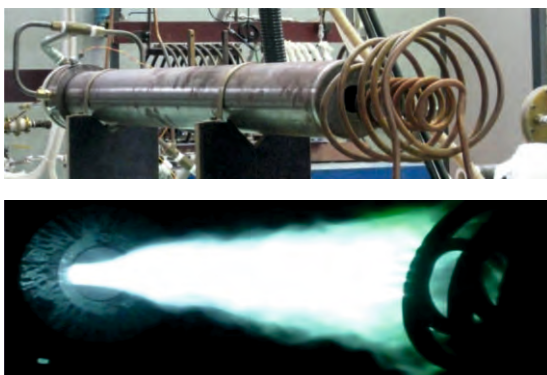
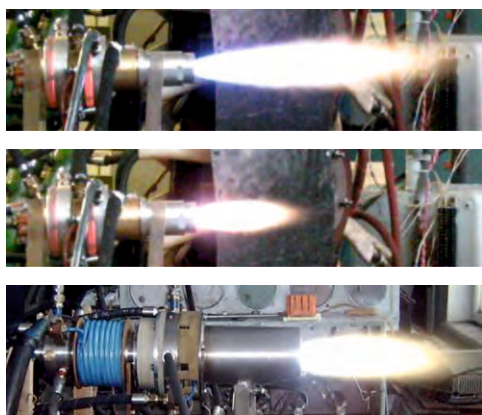
### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Разработаны плазмотроны постоянного и переменного тока:

- струйные электродуговые плазмотроны косвенного действия
- плазмотроны с вынесенной дугой (прямого действия), когда одним из электродов является обрабатываемый материал

Изготавливаются плазмотроны мощностью от 20 кВт до 2 МВт.

Для создания плазменных потоков мощностью до 100 кВт разработаны



электродуговые плазмотроны типа ПДС (плазмотрон дуговой со стержневым катодом). Такие плазмотроны позволяют получить плазму различных газов с расходом 3-10 г/с и среднемассовой температурой 3000 – 5000 К.

Для создания плазменных потоков большей мощности (200 – 500 кВт) разработаны плазмотроны с полыми электродами. Этот тип конструкции имеют как плазмотроны постоянного тока, так и плазмотроны переменного тока. Такие плазмотроны позволяют получить плазму различных газов с расходом 10-30 г/с и среднемассовой температурой 3000 – 5000 К.

В качестве рабочего тела используются воздух, азот, аргон, метан, смеси легких углеводородов, водяной пар и др.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

- большая эффективность преобразования электрической энергии в тепловую при сравнительной простоте аппаратного оформления
- высокая концентрация энергии в малом объеме плазмы
- высокая скорость протекания химических реакций, что позволяет создавать высокопроизводительные аппараты – реакторы
- возможность стационарного нагрева газа до среднемассовых температур порядка  $15 \cdot 10^3$  К при давлении до 20 МПа
- возможность нагрева практически любых газов (восстановительных, окислительных, инертных) и их смесей
- малогабаритность и небольшая металлоемкость плазменной техники

### ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМОТРОНОВ

- получение окислов азота из воздуха и эквимолекулярных смесей азота и кислорода с последующим получением азотной кислоты
- получение ацетилена и этилена из газообразных и жидких углеводородов
- переработка природных фосфатов и получение термо- и обесфторенных фосфатов и пятиокси фосфора с последующим синтезом фосфорной кислоты
- синтез тугоплавких соединений (нитридов, оксидов, карбидов) в низкотемпературной плазме
- получение оксидов редкоземельных элементов (иттрия, неодима, церия)
- синтез полировальных порошков на основе диоксида церия
- получение термически стойких красящих пигментов на основе оксидов или их смесей
- переработка (сжигание и остекловывание) радиоактивных отходов
- переработка и уничтожение токсичных промышленных органических и хлорорганических отходов
- термическая обработка и регенерация сорбентов и катализаторов

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ: на изобретение: № 5406 от 14.04.2003; №7734 от 19.08.2003; № 6141 от 30.06.2004 г.; на полезную модель: 4190, 4357, 4519.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Разработка и изготовление изделий на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ. Выполнение НИОК(Т)Р и испытаний на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Отдел электродуговой плазмы (заведующий — кандидат технических наук Савчин Василий Васильевич).

+375(17)397-12-31, [sauchyn@itmo.by](mailto:sauchyn@itmo.by)

## ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕАКТОР-ПИРОЛИЗАТОР PP-500



Плазменно-дуговой реактор-пиролизатор PP-500 (далее – пиролизатор PP-500) предназначен для безопасной экологически чистой переработки широкого спектра отходов со значительной органической составляющей, таких как отходы деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, резинотехнические отходы, например изношенные автопокрышки, сельскохозяйственные, в том числе растительная биомасса, муниципальные, медицинские и другие. Основной частью технологической установки для переработки отходов являются плазменные реакторы и печи. Плазма преобразовывает отходы, разлагая все органические компоненты, превращая их органическую часть в горючий синтез-газ, а неорганическую часть – в невымещающийся стеклованный шлак. При наличии в отходах существенной части металла возможно выделение этой составляющей в виде расплава.

### Основные характеристики пиролизатора PP-500:

|                                                        |                          |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| ○ производительность                                   | 500 кг/ч                 |
| ○ общая установочная мощность                          | не более 600 кВт         |
| ○ количество плазмотронов                              | 2 шт.                    |
| ○ единичная мощность плазмотрона                       | не более 170 кВт         |
| ○ температура плазменных факелов                       | 4000-5000 °C             |
| ○ температура в рабочей зоне реактора                  | 1700 °C                  |
| ○ допустимая влажность отходов                         | 35 %                     |
| ○ температура входящих газов                           | не более 180 °C          |
| ○ расход воздуха                                       | 2500 м <sup>3</sup> /час |
| ○ система охлаждения водяная, оборотная, двухконтурная |                          |

## ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Отходы могут находиться в любом агрегатном состоянии и в любой комбинации агрегатных состояний. Смена типа отходов и их агрегатного состояния требует лишь переналадки режимных параметров оборудования.

Продукты для уничтожения или утилизации: органические отходы, пластик, резина, текстиль, бумага, картон, теплоизоляция и полимерные материалы, древесина и др.

При использовании органических отходов среднестатистического состава с помощью пиролизатора PP-500 можно получать в сутки до 20 000 м<sup>3</sup> синтез-газа (в том числе водорода 7500 м<sup>3</sup>) со средней калорийностью 1300 ккал/м<sup>3</sup>.

При сжигании такого количества синтез-газа (его можно также использовать в химическом синтезе для производства ценных промышленных продуктов типа метанола, биотоплива, пластмассы, антифриза, плексигласа) с целью получения тепловой энергии (например, в котельных установках) можно получить 26 Гкал. Это в три раза превышает количество тепла, которое можно получить из затраченной на генерацию плазмы электрической энергии.

Если дополнить пиролизатор PP-500 электрогенератором с турбинным либо поршневым приводом, то уже при КПД 35% можно полностью восполнить предельные потери электроэнергии на генерацию плазмы (500 кВт) и сделать систему энергонезависимой или даже автономной, при этом оставшиеся 65 % тепловой мощности можно использовать для отопления, подогрева воды или любых других процессов, связанных с потреблением тепла (например, опреснения морской воды).

Никакая другая технология переработки отходов не является столь же универсальной, как плазменная.

Реактор-пиролизатор PP-500 предназначен для переработки в среднем 500 кг отходов в час (12 т в сутки). Реальная производительность пиролизатора PP-500 может быть больше или меньше в зависимости от типа, агрегатного состояния, влажности, процента органической части, размера фрагментов (для кусковых) отходов. От этих же параметров зависит потребляемая электрическая мощность генераторов плазмы (плазмотронов), которая лежит в диапазоне от 150 до 500 кВт.

Обслуживающий персонал пиролизатора – 2 чел.

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент на изобретение РБ № 21917 от 2018.06.30 «Устройство для переработки пиролизом твердых органических материалов».

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Работающий прототип реактора-пиролизатора.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

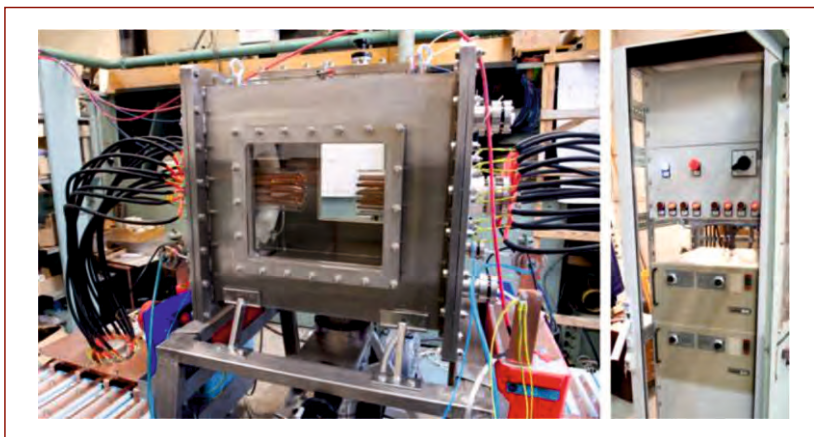
Конструкторская документация и изготовление оборудования. Договор НИОК(Т)Р. Обучение специалистов заказчика работе на предлагаемом оборудовании.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

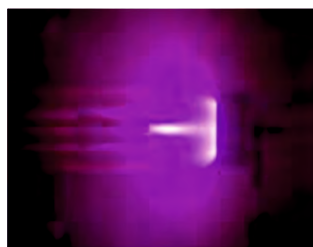
Отдел электродуговой плазмы (заведующий — кандидат технических наук Савчин Василий Васильевич).

+375(17)397-12-31, [sauchyn@itmo.by](mailto:sauchyn@itmo.by)

## КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ СИЛЬНОТОЧНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ КСПУ П-12Х2



Плазменный ускоритель КСПУ П-12х2 предназначен для генерации высокоэнергетических компрессионных плазменных потоков для эффективной модификации поверхностных свойств материалов, недоступной для других методов, решения ряда задач управляемого термоядерного синтеза (заполнение магнитных ловушек, проблема первой стенки термоядерного реактора и др.), а также для создания плазменных двигателей космического назначения.



### Технические характеристики:

|                                  |                                             |
|----------------------------------|---------------------------------------------|
| ○ Вкладываемая в разряд энергия  | 32 кДж                                      |
| ○ Скорость плазменного потока    | 50–150 км/с                                 |
| ○ Температура электронов плазмы  | 3–15 эВ                                     |
| ○ Концентрация электронов плазмы | $10^{16} - 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ |
| ○ Время существования плазмы     | ~150 мкс                                    |

В кооперации с кафедрой физики твердого тела и полупроводников физического факультета Белгосуниверситета (материаловедческие исследования) развиваются технологии модификации поверхностных свойств металлов – поверхностная плазменная металлургия.

Материаловедческие исследования фиксируют следующие изменения:

### В образцах конструкционных сталей:

- формирование глубокого (до 50 мкм) модифицированного слоя

- увеличение концентрации внедренного азота и синтез упрочняющих нитридов легирующих металлов
- увеличение микротвердости в 1,5 – 2,5 раза
- уменьшение коэффициента трения поверхности до 4,5 раз

#### **В образцах титана:**

- увеличение концентрации внедренного азота и синтез упрочняющих нитридов легирующих металлов
- увеличением легированного слоя хрома, молибдена, никеля и циркония с глубиной 15 – 20 мкм
- увеличением твердости в 1,5 – 2,5 раза
- уменьшением коэффициента трения до 4,5 раз

#### **В образцах кремния:**

- синтез регулярных объемных структуры диаметром 100 - 700 нм и длиной до 500 мкм
- синтез в течение одного разряда (~100 мкс) поверхностных объемных субмикронных структур и покрывающих их наноструктурированных металлических кластеров (сферические образования диаметром 50-200 нм, состоящие из наночастиц размером 10-30 нм).
- формирование легированного приповерхностного слоя (до 7 мкм), содержащего силициды легирующих элементов

При увеличении плотности мощности компрессионного потока и числа импульсов воздействия увеличивается степень однородности распределения легирующих элементов и их силицидных фаз в модифицированном слое.

### **СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ**

Совокупность параметров плазмы компрессионных потоков, генерируемых КСПУ П-12х2, недостижима для других существующих в настоящее время плазмодинамических систем.

Создана экспериментальная база для поверхностной плазменной металлургии. Магнетоплазменный компрессор генерирует высокоэнергетические компрессионные плазменные потоки, по совокупности параметров, определяющих возможности методов модификации поверхностных слоев материалов, превосходящие все существующие на сегодняшний день типы плазменных ускорителей.

### **СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ**

Патенты РБ: №16907 от 2013.02.28; № 21249 от 2017.08.30; 21829 от 2018.04.30; № 21914 от 2018.06.30; № 22177 от 2018.10.30. Патент РФ на изобретение № 2464335 от 2012.10.20.

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Проведение совместных НИОК(Т)Р. Модификация поверхностных свойств материалов на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория физики плазменных ускорителей (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Асташинский Валентин Миронович).

+375(17)356-93-51, [ast@hmti.ac.by](mailto:ast@hmti.ac.by)

# ДВУХЗЕРКАЛЬНЫЙ АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ПОЛЯ РЕФРАКЦИИ

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Двухзеркальный автоколлимационный интерферометр предназначен для визуализации оптических неоднородностей в прозрачных для видимой области спектра средах и количественного определения пространственного поля рефракции в исследуемых объектах. Прибор может использоваться для исследования газо- и гидродинамических процессов, сверхзвуковых течений, горения и взрыва, плазменных потоков и ударных волн как в окружающей среде, так и в закрытых каналах.

### Характеристики интерферометра:

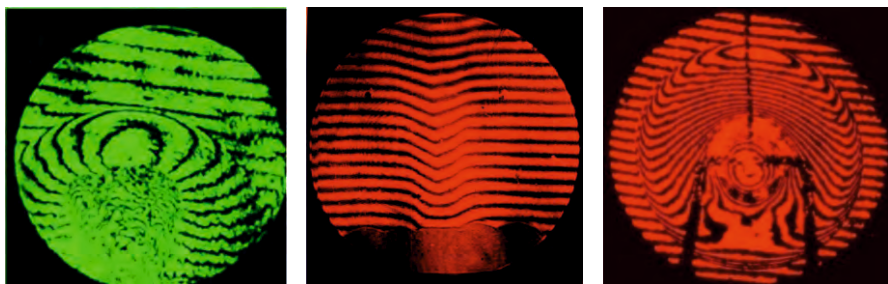
- |                                                |                             |
|------------------------------------------------|-----------------------------|
| ○ диаметр поля зрения, D                       | 200 мм                      |
| ○ фокусное расстояние коллимирующего объектива | F 595 мм                    |
| ○ набег интерференционных полос по полю, полос | не более 0.1                |
| ○ рабочий диапазон длин волн источника света   | 500 – 700 нм                |
| ○ размеры коллиматорного блока                 | 767x228x235 мм <sup>3</sup> |
| ○ размеры зеркального блока                    | 485x228x265 мм <sup>3</sup> |
| ○ общий вес                                    | 40 кг                       |

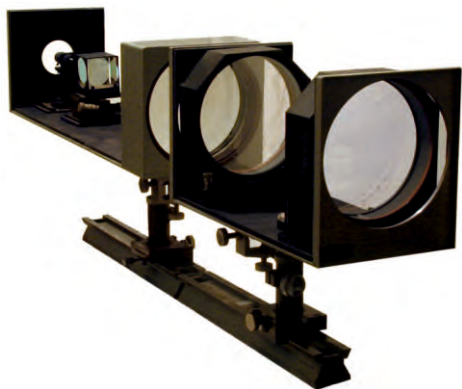
Конкретные габариты интерферометра определяются требуемыми значениями апертуры и относительного отверстия коллимирующего объектива.

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- Все компоненты интерферометра располагаются вдоль одной оптической оси, что существенно упрощает его компоновку на экспериментальной установке произвольной геометрии
- Интерферометр при небольших габаритах и весе имеет относительно большое поле визуализации
- Зеркала интерферометра в юстируемых оправках выполнены в виде съемных узлов, что дает возможность устанавливать их на отдельных рейтерах и изменять длину измерительного плеча интерферометра в широких пределах
- При исследованиях процессов в закрытых камерах размещение зеркал интерферометра внутри камеры автоматически исключает влияние оптических неоднородностей смотрового окна камеры на сдвиги интерференционных полос

Промышленный аналог – интерферометр ИЗК-454 – при размере поля визуализации 140x215 мм имеет вес около 2000 кг.





Интерферометр с диаметром  
коллимирующего объектива 200 мм

По аналогичной схеме выполнены интерферометры ряда крупных оптических компаний (GPI XP/D, Zygo Corporation, США,  $D=150$  мм; ИТ-200, ОАО ЛОМО, СПб,  $D=200$  мм). Однако они предназначены исключительно для контроля качества оптических деталей посредством измерения отклонений их поверхностей от эталонной плоской либо сферической поверхности и находят применение главным образом в оптических НИИ и в оптическом приборостроении.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

С помощью интерферометров, имеющих различные значения диаметра  $D$  апертуры коллимирующего объектива, проводились исследования разнообразных

процессов, таких как взаимодействие лазерного излучения с твердотельными мишенями ( $D=40$  мм), тлеющий разряд атмосферного давления ( $D=40$  мм), динамика факела газопламенной горелки ( $D=60$  мм), клапанный напуск газа в вакуумную камеру квазистационарного плазменного ускорителя КСПУ П-12х2 ( $D=80$  мм), формирование области компрессии в магнитоплазменном компрессоре ( $D=100$  мм) и истечение плазменного потока из разрядного устройства КСПУ П-50М ( $D=200$  мм).

### СТАТУС ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Имеется опытный образец прибора и рабочая конструкторская документация к нему.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Изготовление интерферометров на договорной основе. Научно-техническое сопровождение работ.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

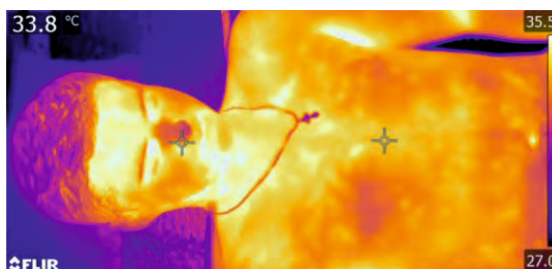
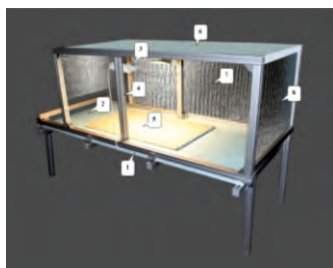
Лаборатория физики плазменных ускорителей (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Асташинский Валентин Миронович).

+375(17)356-93-51, [ast@hmti.ac.by](mailto:ast@hmti.ac.by)

# ИНФРАКРАСНАЯ КАБИНА ДЛЯ АКТИВАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Инфракрасная кабина (ИК-кабина) предназначена для проведения терапевтических термических процедур в лечебной, оздоровительной и спортивной практике путем теплового воздействия излучения ближнего инфракрасного диапазона на организм человека с автоматическим управлением параметрами воздействия с учетом физиологического состояния пациента.

Сеанс ИК-терапии сопровождается расширением кровеносных сосудов пациента, усилением обмена веществ, активацией иммунитета, повышением содержания кислорода в тканях, что обеспечивает противовоспалительный, противоотечный, противоспазматический и обезболивающий эффекты. ИК-излучение способствует активации потоотделения и вывода холестерина, солей, токсинов, жиров. Повышение температуры биотканей при проведении ИК-терапии имитирует физиологическую реакцию организма на инфекционное заболевание, угнетает жизнедеятельность патогенных микроорганизмов и вирусов. Максимальный физиологический эффект достигается при использовании источников ближнего ИК-диапазона в «окне терапевтической прозрачности» оптического излучения, что обеспечивает наиболее глубокое проникновение излучения в ткани.



Внешний вид макетного образца ИК-кабины и термограмма поверхности кожи пациента

## Технические характеристики инфракрасной кабины:

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| ○ длина волны ИК-излучения                  | 0,7-1,8 мкм |
| ○ время подготовки для проведения процедуры | 10 мин      |
| ○ температура внутри ИК-кабины              | 37 °C       |
| ○ потребляемая мощность                     | 0,4 кВт     |
| ○ общий вес кабины                          | 11 кг       |
| ○ габариты                                  | 2×1×1 м     |

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Модуль ИК-кабины выполнен из стандартных элементов, что позволяет реализовать универсальность изделия, модульность конструкции, подстройку под рост и вес пациента, использование различных источников излучения с регулированием их положения и угла наклона, возможность монтажа измерительных датчиков и дополнительного оборудования.

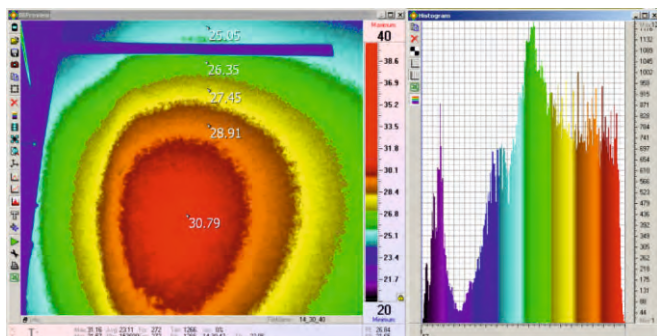
В ИК-кабине установлены датчики регистрации физиологических показателей пациента, теплового режима, блок передачи данных, блок приема данных, блок управления, устройство ввода данных, устройство отображения информации,

излучатели, блок питания излучателей. Наличие в составе блока питания понижающего трансформатора обеспечивает защиту пациента от случайного поражения электрическим током. Для защиты головы пациента от перегрева предусмотрены защитные рефлекторы и вентиляционные клапаны. Инфракрасные нагреватели не снижают содержание кислорода в воздухе кабины, тем самым препятствуя обезвоживанию и иссушению кожи.

### ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Отличительной особенностью устройства является реализация биотехнической обратной связи путем мониторинга основных физиологических данных пациента и автоматического управления параметрами ИК-процедуры на основе поступающей информации. Это позволяет согласовать интенсивность тепловой нагрузки с индивидуальным функциональным состоянием пациента на протяжении всего сеанса ИК-терапии. К преимуществам ИК-кабины относится короткое время подготовки для проведения процедуры, низкая потребляемая мощность по сравнению с существующими аналогами, высокий уровень безопасности.

Температура в ИК-кабине задается посредством изменения мощности электропитания источников ИК-излучения и поддерживается на уровне 39 °С в области туловища и 32 °С в области головы пациента, что оптимально для создания естественной реакции организма человека на подъем температуры тела при развитии системного воспалительного процесса и активации защитных механизмов.



Термограмма и температурная гистограмма рабочей зоны кабины

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработан и изготовлен макет модуля облучения инфракрасной кабины, включая аппаратные средства контроля теплового режима и блока управления.

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патент РБ на полезную модель № 11587 от 28.02.2018.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Выполнение НИОК(Т)Р по договорам с заказчиком. Изготовление установок. Научно-техническое сопровождение работ по освоению технологии и созданию установок, техническая документация.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович).  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

## ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Задачи обеспечения энергоэффективности решаются путем реализации энергосберегающих проектов строительства новых зданий и сооружений, реконструкции эксплуатируемого фонда с использованием современных материалов и технологий, своевременной термодиагностики состояния эксплуатируемых объектов, осуществляемых независимыми экспертными организациями, обладающими полномочиями, квалифицированными специалистами и аппаратурой.

Тепловые аномалии и дефекты теплоизоляции в стенах и кровлях зданий, неисправности в работе систем отопления, электросетей, бытового оборудования определяются методами и приборами дистанционного измерения температуры – пирометрами и тепловизорами, а также контактными средствами измерения температур и плотности тепловых потоков.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

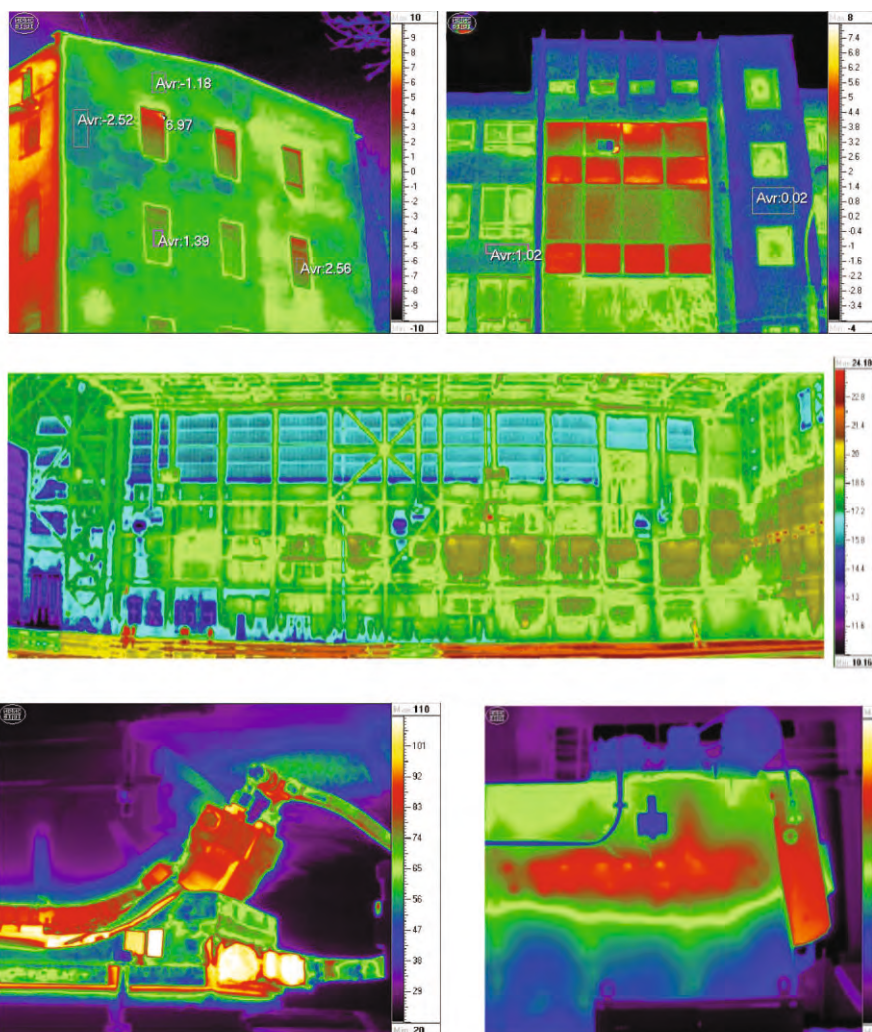
Институт оснащен необходимым оборудованием и средствами измерения для проведения термодиагностики с необходимой точностью и объективностью, располагает фондом соответствующих актуализированных технических нормативных правовых актов. Квалифицированные сотрудники Института имеют большой опыт работы в области тепловизионной диагностики, имеют сертификаты компетентности 2 уровня по тепловым методам контроля.

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена получила в Белорусском государственном центре по аккредитации аттестат аккредитации на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Объектами испытаний, согласно аккредитации, являются здания и сооружения, трубопроводы горячего водоснабжения, паропроводы, термическое и нагревательное оборудование, нагревательное оборудование тепловых электростанций.



В приложении к Аттестату аккредитации указаны параметры испытательных режимов, наименования и диапазоны измеряемых величин, характеристики погрешностей:

- определение теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов при стационарном тепловом режиме
- определение плотности тепловых потоков, проходящих через однослойные и многослойные ограждающие конструкции
- тепловизионная диагностика теплового состояния и контроль качества теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений
- контроль температуры элементов конструкций и равномерности температурного поля промышленного оборудования



Результаты тепловизионной диагностики теплового состояния ограждающих конструкций зданий, сооружений и промышленного оборудования

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Работы в соответствии с областью аккредитации на договорной основе.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория радиационно-конвективного теплообмена (заведующий — член-корреспондент, доктор физико-математических наук Гринчук Павел Семенович).  
+375(17)379-13-46, [gps@hmti.ac.by](mailto:gps@hmti.ac.by)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТЕПЛОФИЗИКИ

Институт имеет опыт создания физических и математических моделей для компьютерного анализа процессов в широком спектре задач теплофизики, таких как тепловые и диффузионные процессы, гидродинамика, фильтрация, химическая кинетика, горение, перенос излучения, фазовые переходы, нуклеация, барьерный и микроволновой разряды, неравновесные состояния.

Опыт работ по ряду проектов широкой тематики, в том числе:

- Использование плазмы барьерного разряда для улучшения адгезионных свойств полимерных пленок
- Термическое разрушение фторида серы, тетрафторида углерода в плазме микроволнового разряда
- Образование аэрозолей в колоннах мокрой очистки топочных газов
- Моделирование дефлаграционных взрывов топливно-воздушных смесей на промышленных объектах
- Разработка реакторов неполного окисления углеводородов для производства синтез-газа
- Эрозионные процессы на поверхности гафниевого катода плазмотрона
- Тепловые и химические процессы в сталеплавильной печи
- Моделирование тепловых процессов для модернизации промышленных нагревательных печей (загрузочных и проходных)
- Исследование кинетики гидролиза борогидрида натрия
- Горение стали в кислороде высокого давления
- Моделирование диффузии и нуклеации углерода в никелевых нанокляпах в процессе образования и роста нанотрубок
- Образование наночастиц при испарении микрокапель растворов в вакууме

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Патенты РБ: №№ 16481 от 2012.10.30; 17743 от 2013.12.30; 19210 от 2015.06.30; 19810 от 2016.02.28; 20297 от 2016.08.30; 20473 от 2016.10.30; 21456 от 2017.10.30; 21574 от 2018.02.28; 21663 от 2018.02.28; 21917 от 2018.06.30; №№ 9740 от 2013.12.30; 10068 от 2014.04.30; 16481 от 2012.10.30; 7854 от 2011.12.30; 9452 от 2013.08.30 и др.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Разработка математических моделей на договорной основе.

Моделирование процессов и технологий для оптимизации способов измерения характеристик исследуемых явлений, поиска улучшенных схем технологических процессов, эффективных технических решений.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория математического моделирования (заведующий — кандидат физико-математических наук Шабуня Станислав Иванович).

+375(17)378-22-10, [stas@itmo.by](mailto:stas@itmo.by)

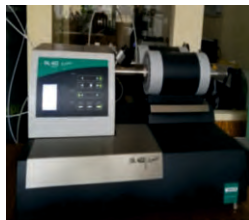
## ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Институт оснащен комплексом оборудования, позволяющим выполнять полную теплофизическую характеризацию материалов в широком диапазоне температур. В приборах реализованы передовые методы анализа, что позволяет ускорить и повысить точность проведения комплексных экспериментальных исследований и измерений. Сотрудники владеют новейшими методами теплофизических измерений, разрабатывают авторские методики проведения исследований материалов различных функциональных классов. Успешно проводятся исследования теплофизических свойств полимерных композитов, неорганических материалов, создаваемых для космических аппаратов и инструментов, определение характеристик органических тканей, исследования, связанные с контролем качества и идентичности материалов, протекания химических и физических процессов, теплового поведения материалов.

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Выполнение экспериментальных исследований методами:

- монотонного нагрева в диапазоне температур **от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$**
- радиационного нагрева при температурах от комнатных **до  $2000^{\circ}\text{C}$**
- лазерной вспышки при температурах от комнатных **до  $1100^{\circ}\text{C}$**
- синхронного термического анализа (ТГ, ДТА, ДСК) – в интервале температур **от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $+1600^{\circ}\text{C}$**
- дилатометрии в интервале температур **от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $+1600^{\circ}\text{C}$**



В Институте проводятся научные исследования по направлениям: изучение влияния состава композитов и внешних воздействий (температура, термоциклирование, высококонцентрированные потоки энергии) на теплофизические свойства материалов; синтез и исследование структурно-фазовых особенностей и свойств неорганических наноматериалов.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Проведение совместных НИОК(Т)Р. Проведение измерений на договорной основе. Обучение студентов.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория теплофизических измерений (заведующий — кандидат технических наук, доцент Данилова-Третьяк Светлана Михайловна).

+375(17)247-51-35, [dts@hmti.ac.by](mailto:dts@hmti.ac.by)

## ЗОНДОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ

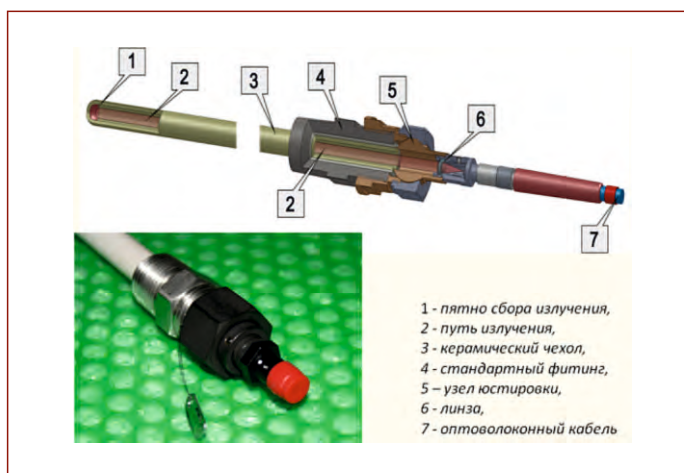


Зондовый измеритель высоких температур (600 – 1950 °С) предназначен для измерения температуры нагретых сред контактным способом с помощью погружаемых термозондов (на фото). Термозонды изготавливаются с использованием промышленно выпускаемых защитных керамических чехлов, предназначенных для установки в них термопар. Температура определяется по данным спектрофотометра как параметр регистрируемого спектрального распределения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне.

Число каналов измерения обусловлено применением 4-х-канального компактного оптического коммутатора, изготовленного по MEMS технологии.

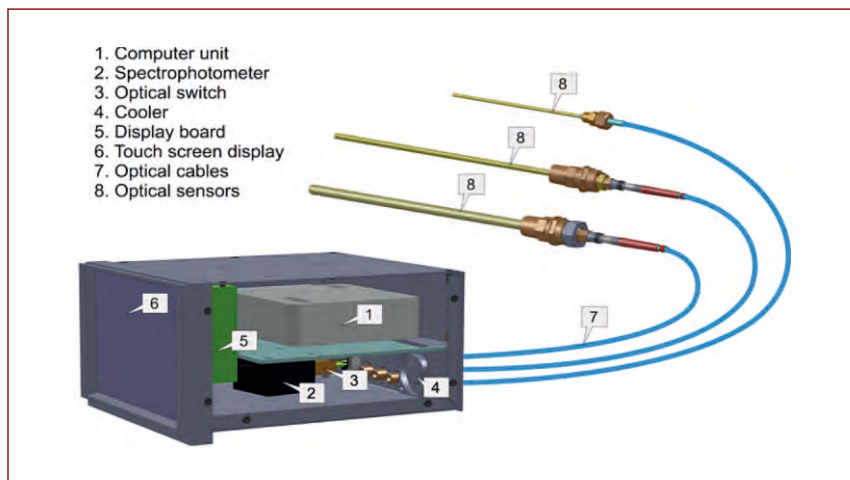
Могут быть установлены 2, 4, 8, 13, 16 и 24-канальные оптические коммутаторы.

Нижняя граница измерения (600 °С) обусловлена использованием относительно недорогих оптических компонентов, верхняя – допустимой температурой промышленно выпускаемых защитных чехлов. Возможны измерения температуры выше 1950 °С с использованием специальных защитных чехлов.



### ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Разработанный способ термопреобразования практически исключает влияние мощных электромагнитных полей на показания температуры и позволяет измерять ее в случаях, когда термопары выходят из строя или достоверность их показаний вызывают сомнения (в СВЧ, индукционных и дуговых печах, в электротермических реакторах, в нагревателях под высоким потенциалом и др.). Долговечность термозонда



определяется в основном термохимической стойкостью материала защитного чехла. Предлагаемый измеритель высокой температуры сочетает в себе достоинства классических контактных (термопары) и оптических (пирометрия) методов измерения, включает в своем составе компьютер и может быть легко интегрирован в АСУТП различного уровня.

#### Размеры термозонда:

- внешний диаметр рабочей части 3 – 19 мм
- длина рабочей части 150 – 600 мм
- длина соединительных оптоволоконных кабелей 5 м

В отличие от широко распространенных радиационных пирометров отношения, оптический путь собираемого излучения полностью закрыт, применена волоконная оптика, излучающий объект (керамика) имеет стабильные характеристики, алгоритм вычисления значительно повышает точность и достоверность измерений в широком диапазоне температур.

Термозонды разрабатываются и изготавливаются на основе промышленно выпускаемых защитных керамических чехлов, предназначенных для установки в них термопар, имеют стандартные размеры и соединительные фитинги.

#### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

Высоковольтный высокочастотный трансформатор: патент на полезную модель 10202 РБ, 2013. Патентовладелец ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси».

Устройство для сжатия импульса тока: патент на полезную модель 7128 РБ, 2010. Патентовладелец ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси».

#### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проведение совместных НИОК(Т)Р. Разработка и изготовление приборов под требования заказчика на договорной основе. Техническая документация. Научно-техническое сопровождение.

#### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Отдел быстропотекающих процессов (заведующий — Плевако Федор Васильевич).

+375(17)357-21-06, [fplevako@itmo.by](mailto:fplevako@itmo.by)

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СКАНИРУЮЩИЙ ЗОНДОВЫЙ МИКРОСКОП SSM-310

Многофункциональный сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) SSM-310 представляет собой атомно-силовой микроскоп в комплексе с аппаратными и программными средствами, необходимыми для измерения и анализа с нанометровым разрешением микро- и нанорельефа поверхностей, объектов микро- и нанометрового размерного диапазона, их микромеханических и других свойств.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Многофункциональный сканирующий зондовый микроскоп SSM-310 включает измерительный модуль и блок электроники управления. Измерительный модуль, состоящий из базовой платформы и устанавливаемой на ней измерительной головки, обеспечивает анализ свойств движущегося образца под неподвижным зондом. Максимальные размеры образца: Ø40 мм, высота 13 мм.



Общий вид атомно-силового микроскопа SSM-310 в базовой конфигурации с измерительным модулем и блоком электроники управления

Базовая платформа обеспечивает установку измерительной головки, а также размещение и сканирование образца. Включает пьезоплатформу для XYZ-перемещения исследуемого образца с помощью системы автоматического подвода/отвода. Размер сканируемой области до 120x120x120 мкм, разрешение по XYZ до 0,2 мкм. Скорость сканирования пьезоплатформы 80 мкм/сек по XY, 20 мкм/сек по Z. Платформа XY-позиционирования обеспечивает автоматизированное

перемещение измерительной головки относительно предметного столика в плоскости XY в пределах 25x25 мм (шаг до 2,5 мкм, визуальный контроль до 2,5 мкм). Измерительная головка с лазерно-лучевой схемой детектирования отклонения консоли зонда поддерживает работу в статических и динамических режимах. Ориентирована на применение АСМ-зондов (Si, SiN) на чипах размером 3,6x1,4x0,6 мм, устанавливаемых в сменном держателе. Встроенная видеосистема повышает удобство контроля и настройки зонда при обзоре образца и позиционировании зонда. Увеличение оптической системы 6,5X при фокусном расстоянии 92 мм. Камера разрешением 2MP, размер окна визуализации 1980x1080 точек, частота смены кадров до 60 кадров в секунду.

В зависимости от специфики исследовательских задач СЗМ SSM-310 может комплектоваться специализированными сменными модулями для проведения микротрибометрических и адгезиометрических измерений или наноиндентирования.

## ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ

Блок управления: 442x423x330 мм. Блок сканирования: 300x500x650 мм.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

SSM-310 позволяет проводить исследования в следующих режимах:

Схема атомно-силового микроскопа и изображения модифицированных зондов для исследования поверхности

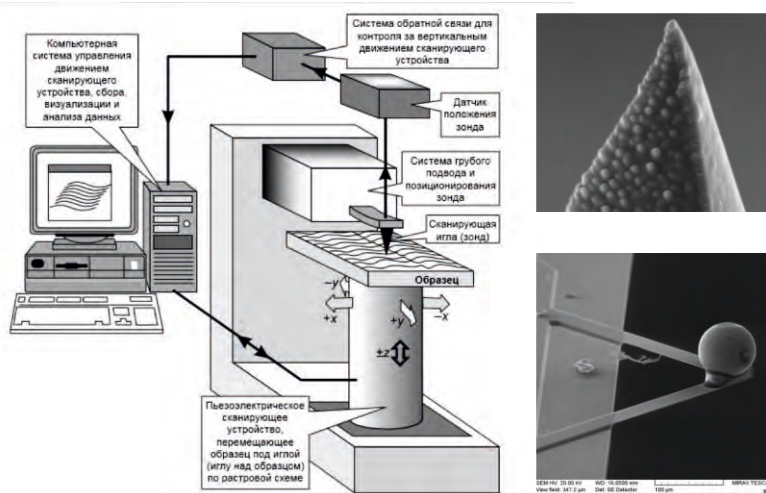
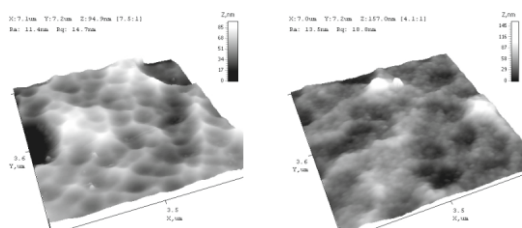


Рис 1. Общая схема сканирующего зондового микроскопа



a)

6)

**Микроструктура поверхности покрытия MoCN,  
полученная с помощью SSM-310:**

a) 7 % C; 6) 18 % C

- Контактная статическая АСМ (отображение рельефа, силы прижатия, латеральных сил)
- Латерально-силовая микроскопия (в режиме контактной статической САМ)
- Многоцикловое сканирование участка (для статической и динамической САМ)
- Динамическая амплитудно-частотная силовая спектроскопия
- Наноиндентирование, наноцарапание, наноизнашивание по линии
- Силовая наноитография
- Температурно-зависимые измерения (для всех режимов)

Комплекс может конкурировать с наиболее сложными и дорогостоящими аналитическими приборами, обеспечивает необходимую точность и воспроизводимость результатов анализа при значительно меньшей стоимости без предъявления высоких требований к квалификации пользователей. ACM SSM-310 совместим с зондами сторонних производителей, с внешними антивибрационными платформами сторонних производителей.

Функциональность микроскопа может быть расширена при помощи дополнительных модулей. Настоятельная потребность разработчиков новых материалов, нанотехнологий, исследователей в точном экспресс-анализе наноматериалов, позволяющем повысить качество выпускаемых изделий и их конкурентоспособность, гарантирует значительное число потребителей такой аппаратуры и методик выполнения измерений.

Технология внедрена и успешно используется в нескольких десятках образовательных, научно-исследовательских и производственных организациях в Республике Беларусь, а также странах ближнего и дальнего зарубежья: Вьетнам - Academy of Science Institute of Applied Physics and Scientific & Instruments; Саудовская Аравия - King Abdulaziz University; Польша - Gdynia Maritime University; Россия – Институт высокомолекулярных соединений РАН; Донской государственный технический университет.

### **ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Физика твердого тела, микроэлектроника, оптика, тонкопленочные технологии, нанотехнологии, полупроводниковые технологии, сверхтвердые материалы, стекла и сопряженные технологии, микро- и нанотрибология, чистовая обработка поверхностей, полимеры и композиты на их основе, системы прецизионной механики, магнитной записи, вакуумной техники, визуализация наноструктур, анализ биологических объектов (мембран, клеток и т.д.).

### **СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ**

Новая технология. Внедрена и успешно используется в нескольких десятках образовательных, научно-исследовательских и производственных организациях в Республике Беларусь, а также странах ближнего и дальнего зарубежья.

### **СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ**

Патенты РБ: № 16535 от 2012.12.30 «Способ сканирования образца на СЗМ»; № 20037 от 2016.04.30 «Способ исследования поверхности проводящего объекта с помощью СЗМ»; №20077 от 2016.04.30 «Способ определения патологии биологических клеток».

### **ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА**

Выполнение исследований по договорам НИОК(Т)Р.

Изготовление приборов. Сопровождение освоения оборудования, техническая поддержка.

Гарантия производителя до двух лет.

Поставка, наладка, обучение персонала работе с прибором.

Техническая документация.

Предоставление оснастки и принадлежностей, расширяющих и/или улучшающих базовые функции прибора

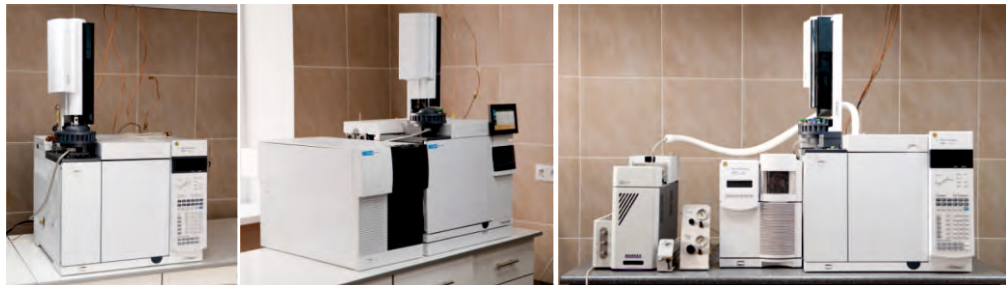
### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Отделение теплообмена и механики микро- и наноразмерных систем [заведующий — академик, доктор технических наук Чижик Сергей Антонович].

Тел.: +375 (29) 684-10-60, [chizhik\\_sa@tut.by](mailto:chizhik_sa@tut.by)

## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Институте введены в эксплуатацию современные приборы для выполнения широкого спектра измерений химического состава различных органических жидких смесей и газообразных веществ. Хроматографические измерения реализуются при квалифицированной поддержке специалистов.



### **ХРОМАТОГРАФ AGILENT 7890A С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТОРОМ 5975C.**

Прибор применяется для анализа продуктов пиролиза резины, древесины, отходов медицинского производства, исследования качества эфирных масел, для определения содержания полициклических ароматических углеводородов в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания.

### **ХРОМАТОГРАФ AGILENT 7890A С СИСТЕМОЙ ДВУМЕРНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ GC-GC С ПЛАМЕННО-ИОНИЗАЦИОННЫМ ДЕТЕКТОРОМ.**

Прибор применяется для анализа сложных органических смесей, таких как бензин/нефть, загрязнителей окружающей среды, ароматизаторов, растительных масел, продуктов горения, растительных масел.

### **ХРОМАТОГРАФ AGILENT 7890A С ПЛАМЕННО-ИОНИЗАЦИОННЫМ ДЕТЕКТОРОМ И ДЕТЕКТОРОМ ПО ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.**

Прибор применяется для анализа компонентов, входящих в газовые смеси, содержащие органические и неорганические вещества.

### **ХРОМАТОГРАФ AGILENT 8890 С ТРЕХКВАДРУПОЛЬНЫМ МАСС-ДЕТЕКТОРОМ**

предназначен для количественного определения различных экотоксикантов, включая диоксины, фураны, а также пестициды.

Разработана методика пробоотбора полициклических ароматических углеводородов из газообразных продуктов пиролиза пропан-бутановой смеси с применением стекловолоконных фильтров, пропитанных полярным органическим растворителем.

Разработаны методики экстракционной пробоподготовки жидких продуктов пиролиза отработанных автомобильных шин с последующим их ГХ-МС анализом Патент РБ № 23213 (2020).

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Выполнение измерений на договорной основе. Проведение совместных научно-исследовательских работ. Обучение магистрантов и аспирантов.

### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Лаборатория физико-химической гидродинамики (заведующий — кандидат физико-математических наук Кривошеев Павел Николаевич).

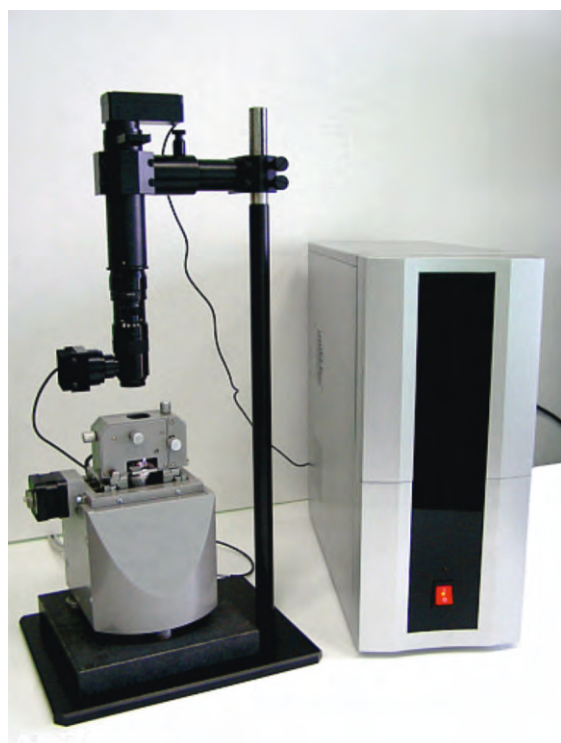
+375(17)378-22-03, [pavlik@dnf.itmo.by](mailto:pavlik@dnf.itmo.by)

# НАНОДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С ФУНКЦИЯМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Нанодиагностический комплекс с функциями сканирующей зондовой и оптической микроскопии предназначен для проведения испытаний металлических, керамических, полимерных материалов, нанокompозитов, тонких пленок и биологических микро- и нанообъектов. Комплекс может применяться при проведении фундаментальных и прикладных исследований в области микробиологии, микромеханики, тонкопленочных технологий, нанотехнологий и биотехнологий, для определения физико-механических свойств материалов на микро- и наномасштабах.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Комплекс относится к автоматизированным аппаратным средствам визуализации и зондового сканирования микрообъектов (в том числе биологических клеток) с



нанометровым разрешением и анализа их локальных механических свойств методом индентирования.

Измерение данных параметров позволяет получить достоверную и полную информацию о вязкоупругих материалах (полимерах, биотканях, клетках и органеллах).

Для эффективного использования комплекса разработано методическое обеспечение по определению модуля упругости, времени релаксации; вязкости и тангенса механических потерь материала при наноиндентировании.

Комплекс выполнен в виде настольного прибора блочной структуры. Конструктивное исполнение комплекса обеспечивает удобство эксплуатации, доступ ко всем его узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе работы.

**Комплекс позволяет решать задачи нанодиагностики, наноструктурного материаловедения и биомеханики:**

- визуализацию нанообъектов и поверхностных слоев с нанометровым латеральным и вертикальным разрешением
- пространственную визуализацию биологических клеток
- проведение исследований в жидкой среде
- проведение исследований при совмещении функций оптической и сканирующей зондовой микроскопии
- позиционирование зонда в микромасштабе

- определения упругих и адгезионных свойств полимерных нанокомпозитов, тонких пленок и биологических клеток
- определения реологических характеристик вязкоупругих материалов в наномасштабе

### ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСА:

Режимы индентирования: статический, динамический.



#### Разрешение при зондовом сканировании:

- вертикальное 0,1 нм
- латеральное 5 нм

#### Измерение сил:

- разрешение 1 нН
- диапазон измерения, в зависимости от жесткости нагружающего элемента от 0,001 до 10 мН
- увеличение обеспечения оптической функции до  $\times 500$
- максимальное поле сканирования  $50 \times 50 \text{ мкм}^2$

### СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТАХ

№ BY 5208 Зонд с углеродной нанотрубкой для атомно-силового микроскопа.

МПК: G 12B 21/00. Опубликовано: 30.04.2009. Дата подачи: 12.09.2008.

№ BY 16535 Способ сканирования образца в виде подложки с покрытием на сканирующем зондовом микроскопе. МПК: G 01Q 10/00. Опубликовано: 30.12.2012.

№ BY U 5368 Зонд для измерения механических и трибологических характеристик материалов. МПК: G 01N 3/40; G 01N 19/02; G 01N 3/56. Опубликовано: 30.06.2009.

№ BY U 5271 Сканирующий зондовый микроскоп. МПК: G 01N 13/10. Опубликовано: 30.06.2009.

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Создание оборудования; проведение измерений на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория нанопроцессов и технологий (исполняющий обязанности заведующего — кандидат технических наук Лапицкая Василина Александровна).  
+375(17)356-10-60, [lapitskayava@hmti.ac.by](mailto:lapitskayava@hmti.ac.by)

# ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ НАНО- И МИКРОСТРУКТУР БИОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК *IN VITRO* МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ, ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Исследовательский комплекс предназначен для регистрации оптических, флуоресцентных и АСМ изображений биологических объектов на микро- и наноуровне, для оценки локальной эластичности и адгезионной способности клеток. Комплекс может быть использован для исследования микро- и наноразмерных объектов и анализа поверхности полимерных и композиционных материалов



## СОСТАВ КОМПЛЕКСА

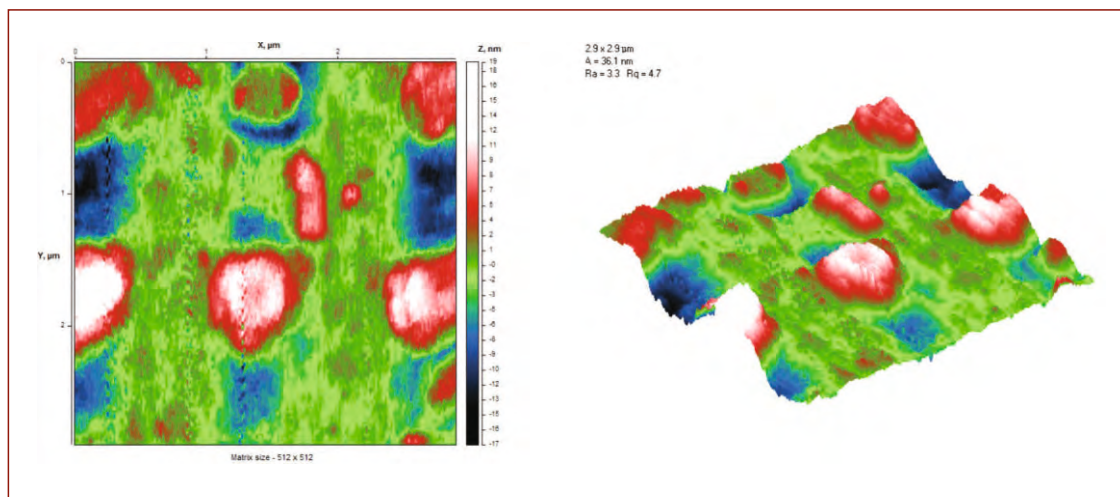
- Модульный сканирующий атомно-силовой микроскоп (САМ, совмещенный с флуоресцентным оптическим микроскопом)
- Специализированное программное обеспечение для АСМ (SurfaceScan Microtestmachines) и флуоресцентной микроскопии (Microvisible ver. 6.3.1 MICROS)
- Система обеспечения жизнедеятельности клеток (термостатирование образца с поддержанием заданного состава газовой атмосферы)

Основные методики АСМ и флуоресцентной микроскопии:

- контактная статическая атомно-силовая микроскопия
- латерально-силовая микроскопия
- полуконтактная динамическая атомно-силовая микроскопия
- микроскопия фазового контраста и флуоресцентная микроскопия
- поддержка TIRFM-, STED-, RESOLFT-, PALM- методик флуоресцентной микроскопии

Возможно использование стандартной культуральной посуды – чашек Петри диаметром 25 мм (толщина дна до 1 мм) и стандартных предметных стекол.

В АСМ используется специализированный держатель чипов с возможностью быстрой смены предустановленных чипов кантилевера стандартного размера



1,6x3,4x0,3 мм. Предусмотрена возможность установки держателя чипов в соответствии с требованиями заказчика (изолированный держатель, оптоволоконный осветитель, оптоволоконный спектрометр и т.д.).

### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСА

- |                                                         |               |
|---------------------------------------------------------|---------------|
| ○ Оптическое увеличение                                 | до 300X       |
| ○ Разрешение в АСМ-режиме                               | 2-10 нм       |
| ○ Область сканирования в АСМ-режиме                     | 100×100 мкм   |
| ○ Температура в рабочей зоне образца                    | 24-27°C±0,5°C |
| ○ Время непрерывной работы с термостатированием образца | до 170 часов  |

Оптическое увеличение определяется типом и комплектацией применяемого флуоресцентного микроскопа. Тип, марка и комплектация флуоресцентного микроскопа могут быть изменены по требованию заказчика. В базовой комплектации устанавливается инвертированный микроскоп MICROSCOPE Sundew MCXI600.

### ПРЕИМУЩЕСТВАМИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ЯВЛЯЮТСЯ:

- открытая архитектура
- модульная структура
- использование охлаждаемых ПЗС приемников при регистрации флуоресцентных изображений
- использование стандартных протоколов и зондов
- контроль концентрации CO<sub>2</sub> и температуры образца в рабочем объеме

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Поставка оборудования, разработка технических средств и методик исследования образцов по требованию заказчика, проведение исследований на договорной основе. Обучение студентов.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория синтеза и анализа микро- и наноразмерных материалов (заведующий — кандидат технических наук Филатов Сергей Александрович).  
+375(17)310-22-38, [fil@hmti.ac.by](mailto:fil@hmti.ac.by)

## СКАНИРУЮЩИЙ БЛИЖНЕПОЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП

Сканирующий ближнепольный оптический микроскоп (далее СБОМ), предназначен для исследований структуры и состава поверхностей оптически непрозрачных объектов. СБОМ обеспечивает исследование поверхности объектов методами оптической микроскопии с разрешением ниже дифракционного предела за счет детектирования излучения, рассеянного изучаемым объектом на расстояниях меньших, чем длина волны света.



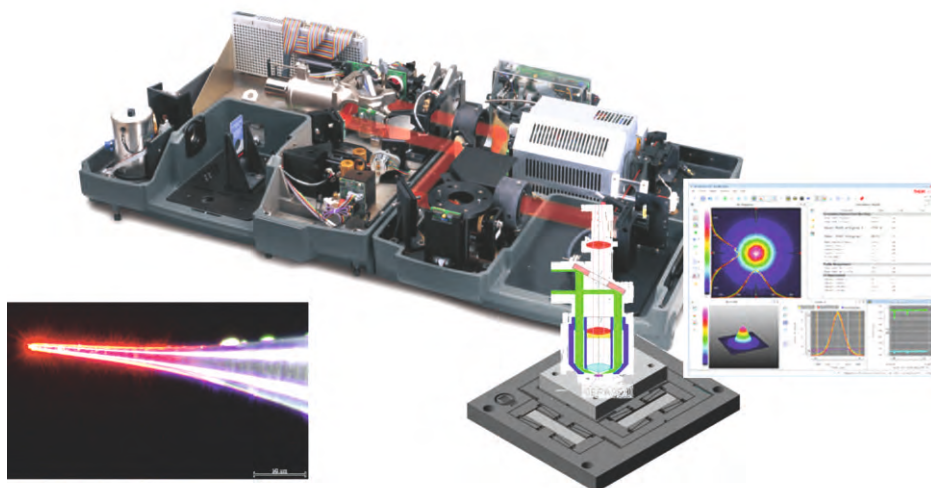
### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Для создания локальной пространственной неоднородности оптического излучения с характерным размером 5 – 20 нм используется прохождение излучения через апертуру с размерами много меньше длины волны (т.н. апертурный метод), либо использование реального наноразмерного электрического диполя – квантовой точки, либо металлической наночастицы, как правило, с эффектом гигантского комбинационного рассеяния (т.н. безапертурный метод). На больших расстояниях наблюдаются только излучательные моды, причем для излучения с длиной волны 650 нм и диафрагмы с отверстием до 5 нм мощность излучения в дальней зоне составляет  $10^{-10}$  от мощности падающего излучения. При взаимодействии эванесцентного излучения с наноразмерным исследуемым объектом в ближней зоне часть энергии электромагнитного поля преобразуется в излучательные моды, которые регистрируются оптическим фотоприемником в виде распределения интенсивности оптического излучения в зависимости от локальных оптических свойств наноразмерного образца (локальных значений отражения, преломления, поглощения и рассеяния света).

### СОСТАВ СБОМ:

- Сканирующая платформа для наноперемещений
- Микропроцессорный блок управления сканирующей платформой
- Оптоволоконная система
- Система регистрации и восстановления изображений

Для проведения исследований и оптимизации оптической системы в составе СБОМ используется модифицированный спектрометр Thermo Nicolet 6700 FT-IR с лазером Nd:YVO<sub>4</sub> (2.5 W 1064 nm) и оптоволоконным зондом.



### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСКОПА

Объектив микроскопа собирает отраженное (рассеянное образцом) излучение.

- |                                                   |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| ○ Поле сканирования в плоскости XY                | 100x100 мкм |
| ○ Диапазон измерений линейных размеров по оси Z   | 50-100 нм   |
| ○ Спектральный диапазон регистрируемого излучения | 480-680 нм  |
| ○ Оптическое увеличение                           | 60 крат     |

Оптическое увеличение определяется типом и комплектацией применяемого флуоресцентного микроскопа. Тип, марка и комплектация флуоресцентного микроскопа могут быть изменены по требованию заказчика.

В конструкции СБОМ использована схема исследования непрозрачных образцов на отражение, в которой зонд подводится к образцу сверху, и которое затем регистрируется фотоприемником, что позволяет реализовать также люминесцентный режим работы с детектированием люминесцентного излучения объекта.

Сканирующая система ближнепольного оптического микроскопа ССБОМ-01 обеспечивает взаимное перемещение зонда и образца в трех измерениях X, Y, Z с помощью специального позиционера с пьезоприводами, управление которыми осуществляется специализированным компьютером.

Допускается использование для управления приводами персонального компьютера с использованием интерфейса USB 2.0 или USB 3.0.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Поставка оборудования, разработка технических средств и методик исследования образцов по требованию заказчика, проведение исследований на договорной основе. Обучение студентов.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория синтеза и анализа микро- и наноразмерных материалов (заведующий — кандидат технических наук Филатов Сергей Александрович).

+375(17)310-22-38, [fil@hmti.ac.by](mailto:fil@hmti.ac.by)

## УСТРОЙСТВО ФИЛЬТРОВАЛЬНОЕ УФ-1



Устройство фильтровальное УФ-1 предназначено для санитарно-бактериологического анализа воды и водных растворов: микробиологических, вирусологических физико-химических анализов, для анализов в пивобезалкогольной промышленности и промышленности минеральных вод, для определения цветности, мутности жидкостей методом мембранных фильтров в соответствии с ГОСТ 3351-74, а также для других целей (мембранная фильтрация воды и водных растворов).

### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Принцип действия устройства УФ-1 основан на баромембранном процессе разделения водных растворов и суспензий. Процесс разделения происходит в аппаратах фильтровальных, оснащаемых мембранами полиамидными микропористыми типа МПМ, другими аналогичными. Количество аппаратов фильтровальных в устройстве может варьироваться от 1 до 10 в зависимости от целей применения и объемов фильтрации растворов. Объемный расход жидкости регламентируется требованиями санитарных правил, норм, гигиенических нормативов (СанПиН). Устройство предназначено для использования в лабораториях предприятий ЖКХ, пищевой промышленности и здравоохранения.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

По техническим и эксплуатационным характеристикам устройство УФ-1 не уступает зарубежным аналогам. Детали устройства, соприкасающиеся с обрабатываемой жидкостью, изготовлены из коррозионностойких материалов. Детали аппаратов фильтровальных допускают термическую обработку (стерилизацию) в соответствии с методиками, действующими в учреждениях Министерства здравоохранения. Занимаемая площадь - не более 1 м<sup>2</sup>.

### СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Разработаны конструкторская и технологическая документация, паспорт устройства: ТУ РБ № 03535003.006-97, Регистрационное удостоверение МЗ РБ № ИМ-7.5511/1155, ЕАС (Декларация о соответствии: ТС ВУ/112 11.01. ТР020 048 00466), Сертификат соответствия СТБ ISO 9001.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Изготовление и поставка готовой продукции на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория турбулентности (заведующий — кандидат физико-математических наук, доцент Чорный Андрей Дмитриевич).

+375(17)320-83-87, [anchor@hmti.ac.by](mailto:anchor@hmti.ac.by)

## МЕМБРАНЫ ПОЛИАМИДНЫЕ МИКРОПОРИСТЫЕ



### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Мембраны полиамидные микропористые МПМ предназначены для работы в составе «Устройства фильтровального УФ-1» или аналогичных устройствах, используемых для санитарно-бактериологического анализа воды и водных растворов, вирусологических, микробиологических и физико-химических анализов, для анализов в пивобезалкогольной промышленности и промышленности минеральных вод.

Принцип действия основан на мембранной

адсорбции болезнетворных микроорганизмов из водного потока. Объемный расход жидкости регламентируется требованиями СанПиН. МПМ – изделия одноразового использования. Материал для изготовления мембран – полиамид-6. Материал мембран нетоксичен по отношению к патогенным микроорганизмам. При необходимости (например, для микробиологических анализов) мембраны могут подвергаться стерилизации путем кипячения или автоклавирования.

В зависимости от целей фильтрации выпускается ряд типов МПМ.

| Типы мембран                               | Средний размер пор, мкм    | Рекомендуемые области применения                                  |
|--------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| МПМ-0,1<br>МПМ-0,2                         | 0,1<br>0,22                | Для микробиологических и вирусологических анализов                |
| МПМ-0,3<br>МПМ-0,45<br>МПМ-0,65<br>МПМ-0,8 | 0,3<br>0,45<br>0,65<br>0,8 | Для санитарно-бактериологического анализа воды и водных растворов |
| МПМ-1,2<br>МПМ-3,0<br>МПМ-5,0              | 1,2<br>3,0<br>5,0          | Для микробиологических и физико-химических анализов               |

### ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Импортозамещающая продукция. По техническим и эксплуатационным характеристикам мембраны МПМ не уступают зарубежным аналогам.

### СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТАХ

ТУ РБ № 100029077.014-2003. Сертификат соответствия СТБ ISO 9001.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Изготовление и поставка готовой продукции на договорной основе.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория турбулентности [заведующий — кандидат физико-математических наук, доцент Чорный Андрей Дмитриевич].

+375(17)320-83-87, [anchor@htmi.ac.by](mailto:anchor@htmi.ac.by)

# КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «МЕМБРАНЫ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ: ВЫБОР, РАСЧЕТ, АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАССОПЕРЕНОСА»



Компьютерная программа «Мембраны воздуходелительные: выбор, расчет, анализ характеристик массопереноса» предназначена для:

- представления в объективной форме совокупности данных по транспортным характеристикам воздуходелительных мембран
- оптимального выбора (поиск по заданным параметрам) селективно-проницаемых мембран для обогащения воздуха азотом (кислородом)
- расчета параметров массопереноса (производительность мембран, поток кислорода, площадь мембранного фильтра, перевод коэффициента проницаемости в единицы системы СИ).

Работа с программой подтверждает ее быстроедействие, удобство пользования и значительное сокращение времени на поиск и сравнительный анализ оптимальной мембраны для создания конкурентоспособных фильтров для разделения воздуха.

Компьютерная программа используется:

- в качестве справочника по транспортным характеристикам 485 воздуходелительных мембран
- для проведения анализа и расчета параметров массопереноса азота и кислорода в газоразделительных элементах
- для оптимального выбора селективно-проницаемых мембран для обогащения воздуха азотом (кислородом)

Демо-версия программы представлена на сайте Института [www.itmo.by](http://www.itmo.by)

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОВАННЫХ ПРАВАХ

Свидетельство о регистрации программы № 726, выдано 05.11.2014.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Компьютерная программа может быть использована в учебном процессе; при проведении научных исследований; для обоснования новых технических решений при разработке газоразделительного оборудования.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория турбулентности (заведующий — кандидат физико-математических наук, доцент Чорный Андрей Дмитриевич).

+375(17)320-83-87, [anchor@htmi.ac.by](mailto:anchor@htmi.ac.by)



# КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ»

Программа предназначена для термодинамического расчета процессов в дизельных двигателях внутреннего сгорания.

**Программа позволяет:**

- расчет параметров дизельного двигателя внутреннего сгорания
- расчет параметров топлива
- расчет параметров турбокомпрессора
- расчет процесса впуска
- расчет процесса сжатия
- расчет процесса сгорания
- расчет процесса расширения
- расчет индикаторных показателей цикла
- расчет эффективных показателей двигателя
- вывод результатов расчета

**Программа используется:**

- для термодинамического расчета процессов в дизельном двигателе внутреннего сгорания
- для расчета состава продуктов сгорания дизельного двигателя ( $O$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H$ ,  $H_2$ ,  $OH$ ,  $H_2O$ ,  $C$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N$ ,  $N_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$ ,  $HNO_3$ ,  $HCN$ )
- для прогнозирования мощностных, экологических показателей двигателя при проведении мероприятий, связанных с модернизацией системы наполнения цилиндров топливно-воздушной смесью

Работа с программой позволяет сократить время на проведение проекторочных расчетов дизельных двигателей, оперативно анализировать состав продуктов сгорания для уменьшения эмиссии выхлопных газов и прогнозировать экономические показатели двигателя для повышения конкурентоспособности продукции автомобилестроительных заводов. Программа может быть использована в учебном процессе; для проведения собственных научных исследований; для обоснования новых технических решений при разработке новой компоновки дизельного двигателя.

**Демо-версия** программы представлена на сайте Института [www.itmo.by](http://www.itmo.by)



## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОВАННЫХ ПРАВАХ

Свидетельство о регистрации программы № 725, выдано 05.11.2014.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

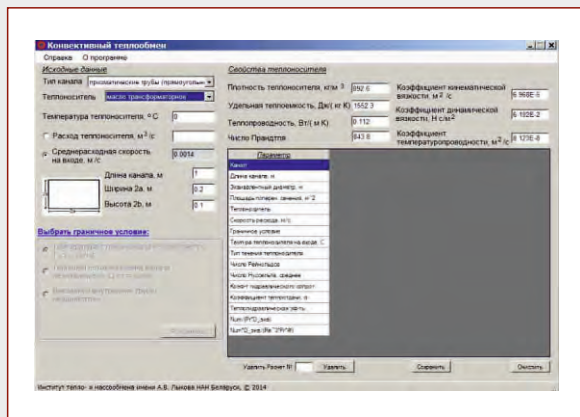
Выполнение расчетов на договорной основе.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория турбулентности (заведующий — кандидат физико-математических наук, доцент Чорный Андрей Дмитриевич).  
+375(17)320-83-87, [anchor@hmti.ac.by](mailto:anchor@hmti.ac.by)



# КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В КАНАЛАХ С ГЛАДКИМИ СТЕНКАМИ»



Программа используется в качестве электронного справочника, написанного на языке C#, для вычисления коэффициентов конвективного теплообмена и гидравлического сопротивления при ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения однофазной химически однородной жидкости в круглых каналах, щелевых каналах (параллельные пластины), трубах кольцевого сечения (концентрические каналы) и призматических трубах прямоугольного сечения.

Расчеты охватывают как стабилизированный режим течения, так и течение на участках развития гидродинамического и теплового пограничных слоев, характерное для миниатюрных каналов.

Работа с программой позволяет быстро и эффективно сравнивать между собой коэффициенты теплообмена и гидравлического сопротивления при конвективном теплообмене в каналах различного проходного сечения, а также выбирать наилучшую конфигурацию при подготовке эксперимента.

Компьютерная программа может быть использована в учебном процессе; для проведения собственных научных исследований.

Демо-версия программы представлена на сайте Института [www.itmo.by](http://www.itmo.by)

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОВАННЫХ ПРАВАХ

Свидетельство о регистрации программы № 618, выдано 26.12.2013.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Выполнение расчетов на договорной основе.

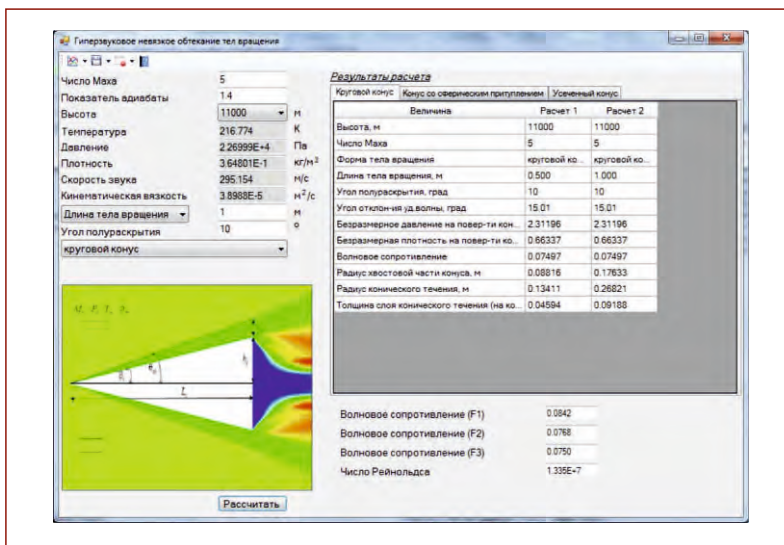
## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория турбулентности [заведующий — кандидат физико-математических наук, доцент Чорный Андрей Дмитриевич].

+375(17)320-83-87, [anchor@hmti.ac.by](mailto:anchor@hmti.ac.by)



# КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «ГИПЕРЗВУКОВОЕ ОБТЕКАНИЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ»



## ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Компьютерная программа «Гиперзвуковое обтекание тел вращения» предназначена для определения аэродинамических характеристик тел вращения при гиперзвуковом невязком обтекании: круговой конус; конус со сферическим притуплением носовой части; усеченный конус.

К рассчитываемым характеристикам относятся:

- коэффициент волнового сопротивления
- безразмерная плотность на поверхности тела вращения
- безразмерное давление на поверхности тела вращения
- угол отклонения ударной волны от поверхности тела вращения
- толщина слоя конического течения
- радиус конического течения

Демо-версия программы представлена на сайте

Института [www.itmo.by](http://www.itmo.by)

## СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОВАННЫХ ПРАВАХ

Свидетельство о регистрации программы № 751, выдано 03.04.2015.



## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Программа может быть использована в исследованиях и в учебном процессе.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

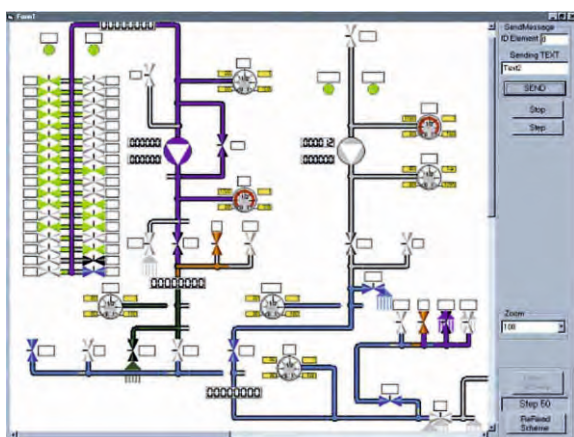
Лаборатория турбулентности (заведующий — кандидат физико-математических наук, доцент Чорный Андрей Дмитриевич).

+375(17)320-83-87, [anchor@hmti.ac.by](mailto:anchor@hmti.ac.by)

## «УМНЫЕ» СЕТИ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ (SMART GRIDS)

Под smart grids понимается набор программно-аппаратных средств, которые способствуют повышению эффективности производства, распределения и передачи электроэнергии. Функции мониторинга и управления качеством воды, транспортом и энергетикой городов берут на себя интеллектуальные системы, что позволяет минимизировать затраты на бытовое и промышленное обеспечение; комплексно сочетать активно развиваемые в настоящее время концепции «умного дома» и «умного города».

Разработки Института в области smart grids соответствуют современному уровню стран ЕС и опережает развивающиеся страны. Использование предлагаемых распределенной службы (cloud's service) и искусственного интеллекта позволяют замещать импортные аналоги и выходить на рынок зарубежных стран, в первую очередь стран ЕАЭС и развивающихся стран.



### ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Институт выполняет расчетно-теоретические работы в области планирования энергетических систем на локальном, региональном и национальном уровнях, на основе современных методов моделирования процессов преобразования энергии для устойчивого развития энергетических систем, включая интеллектуальные технологии для «умных» сетей электроэнергетики и водоснабжения.

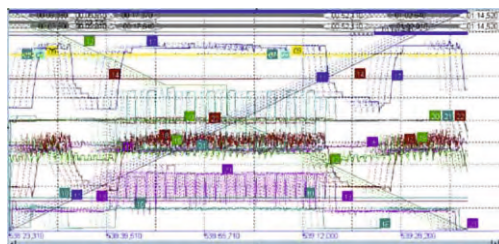
Сотрудники Института обладают знаниями и опытом работы в области создания компьютерных программ для управления интеллектуальными

сервисами в энергетике и водоснабжении с апробированными в мировой практике программными пакетами LEAP, WASP, BALANCE, MESSAGE, TIMES.

Компьютерная технология создания моделей управления обеспечивает создание технологических схем заданных процессов с возможностью их редактирования и динамической визуализации больших массивов данных в on-line и off-line режимах.

### Технология визуализации обеспечивает:

- визуализацию и обработку больших массивов данных – Big Data – (более 100 млрд. значений в нескольких форматах) с высокой производительностью
- подробное исследование данных с помощью зумминга;
- визуализацию данных специальными статистическими методами



## ВСТРАИВАЕМЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Встраиваемый технологический редактор может применяться в широком диапазоне исследований – от моделирования технологических процессов в автомобильной промышленности до создания компьютерных моделей и технологических схем энергетических систем.



## МОДЕЛИ СИСТЕМ СМАРТ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Разработаны математические оптимизационные модели систем smart энергетики и водоснабжения с применением современных методов анализа на основе математики



нечетких множеств, искусственных нейронных сетей, блокчейн технологии и элементов искусственного интеллекта. Развернуто хранилище образов виртуальных машин на основе выбранного варианта организации хранилища, исходя из возможностей программно-аппаратных средств сетевого узла Института. Подготовлены и размещены образы виртуальных машин в хранилище, исходя из требований к облачной среде использования сервисов ячеек smart-сети.

Разработки апробированы при выполнении проекта, финансируемого Рамочной программой Европейского Союза (FP7 и H2020) «Открытые сервисы по энергообеспечению для интеллектуальных сетей».

## СВЕДЕНИЯ О РЕГИСТРАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

- компьютерная программа EUR Service (Energy Usage Reduction Service – Сервис снижения энергопотребления) № 876, дата регистрации 04.04.2016
- компьютерная программа EUMF Service (Usage Monitoring Forecast Service – Сервис прогнозирования и мониторинга потребления энергии) № 877, дата регистрации 04.04.2016

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Научно-техническое сопровождение и моделирование технологических процессов в интеллектуальных сетях водоснабжения и электроэнергетики.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория энергоэффективности и системного анализа (заведующий — кандидат технических наук Левченко Сергей Анатольевич).

+375(17)263-15-15. [lev@hmti.ac.by](mailto:lev@hmti.ac.by)



## ИНФРАСТРУКТУРА ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

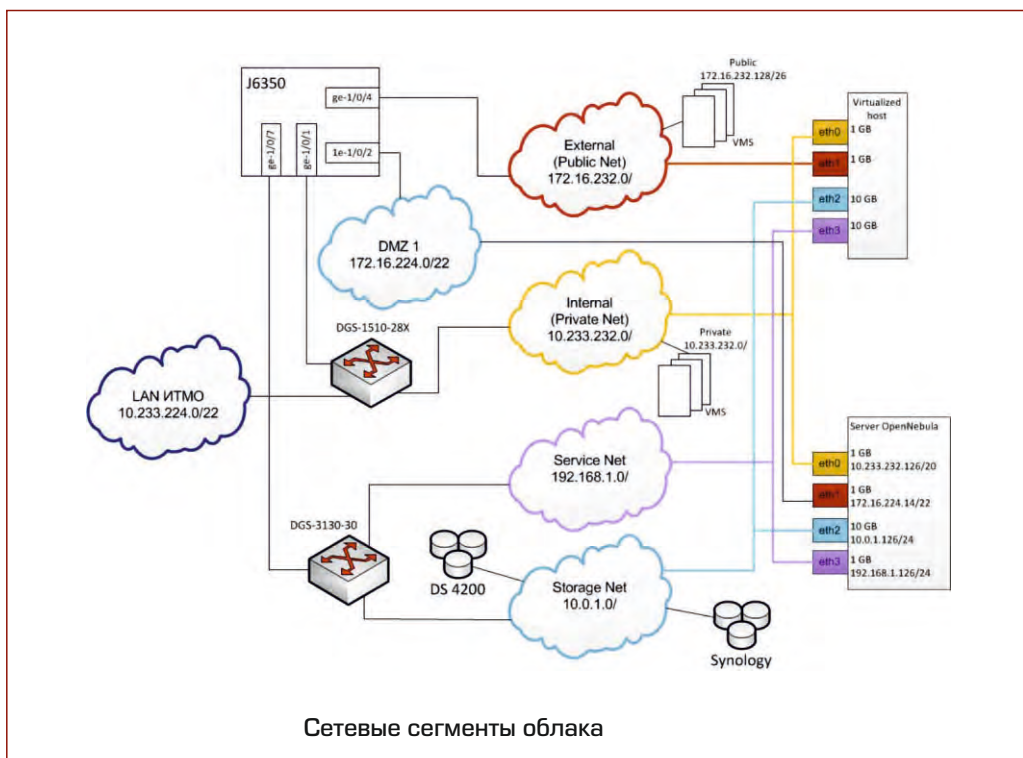
На базе вычислительного кластера Института создана инфраструктура облачных вычислений, которая является ядром формирования частного облака Института.

Внедрение облачных технологий в повседневную практику научных сотрудников выполняется по следующим основным направлениям:

- создание специализированных рабочих мест исследователей
- создание индивидуальных и групповых облачных хранилищ данных повышенной надежности
- создание облачных сетевых инфраструктур для выполняемых НИР и ОКР;
- создание облачных сервисов для обработки больших объемов данных, полученных в рамках экспериментальных исследований, а также исследований с применением технологий численного моделирования
- создание облачных сервисов на основе технологий интеллектуализации процессов анализа и прогнозирования протекания процессов переноса энергии и вещества, а также химических и фазовых превращений
- создание облачных корпоративных сервисов управления научно-исследовательской деятельностью Института

В рамках создания специализированных рабочих мест исследователей предоставляются облачные услуги:

- создание виртуальных машин (VM) для решения специальных научно-исследовательских задач, требующих использования специального программного обеспечения и специфических аппаратных конфигураций,



которые трудно или невозможно создать на основе физических вычислительных средств, имеющихся в лабораториях

- создание вычислительных ВМ, предназначенных для решения задач численного моделирования с применением специализированных пакетов таких, как MATLAB, MATHCAD, Mathematica, ANSYS, Comsol и т.п. с возможностью выделения для этих ВМ вычислительных ресурсов, оперативной памяти, а также объемов хранения из пула ресурсов облака
- создание типовых ВМ в качестве рабочих машин научных сотрудников в случае недостаточной производительности либо ограниченности ресурсов физических машин, имеющихся рабочих мест с использованием технологии "тонкого клиента" доступных по 24x365 как из внутренней сети Института, так и из внешних сетей
- создание защищенных ВМ с установленным специальным индивидуальным ПО, необходимым для выполнения работ по коммерческим контрактам
- создание защищенных ВМ, требующих повышенной устойчивости от внешних вторжений, для демонстрации хода разработок, ведущихся по внешним контрактам

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТНОГО ОБЛАКА

Общее число вычислительных ядер

344

Операционная система

RHEL/CentOS 7

ПО управления облачной инфраструктурой

OpenNebula 5.10

Общий объем хранения

≈ 100 ТБ

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Проектирование и создание облачных инфраструктур по заказу сторонних организаций.

Предоставление ресурсов частного облака Института для сторонних заказчиков.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Отделение информационных систем (заведующий — кандидат технических наук Тимонович Георгий Леонидович).

+375(17) 374-12-71, [tgl@hmti.ac.by](mailto:tgl@hmti.ac.by)

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КЛАСТЕР ДЛЯ ЗАДАЧ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Математическое численное моделирование процессов тепломассопереноса является одним из основных направлений исследований Института. Для решения задач численного моделирования сотрудниками Института используются как собственные программы, так и специализированные пакеты: ANSYS, OpenFOAM, FlowFusion, MATLAB, MATHCAD, Mathematica, Comsol и др. Аппаратную основу для выполнения расчетных задач составляет вычислительный кластер Института.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Общее число вычислительных ядер – 344

Операционная система – RHEL/CentOS 7

Вычислительные пакеты – ANSYS, OpenFOAM и др

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Вычислительный кластер Института активно используется для решения разнообразных теплофизических и газодинамических задач, имеющих важное научное значение. Результаты НИОК(Т)Р, выполненных с использованием кластера, использовались в машиностроении, микроэлектронике, строительстве, военно-промышленной сфере.

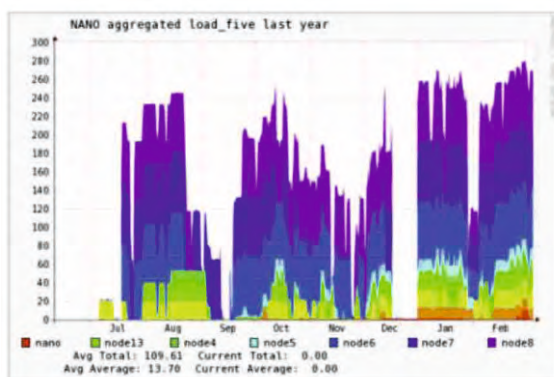


Рисунок. Загрузка кластера.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Создание вычислительных систем для численного моделирования процессов переноса энергии и вещества, химических и фазовых превращений, в том числе с использованием нейронных сетей.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Лаборатория распределенных информационных технологий (заведующий — кандидат технических наук Тимонович Георгий Леонидович).

+375(17) 374-12-71, [tgl@hmti.ac.by](mailto:tgl@hmti.ac.by)

## ОПЫТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО



Опытное производство Института выполняет следующие работы:

- Изготовление нестандартных изделий из металла
- Механическая обработка деталей на токарных, фрезерных, шлифовальных, зуборезных, долбежных станках
- Резка, гибка, вальцовка металла
- Слесарно-сборочные работы
- Сварка соединений ручной дуговой, полуавтоматической аргоно-дуговой, контактной сваркой, сварка алюминиевых соединений
- Термическая обработка деталей

### ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Выполнение работ на договорной основе по техническим заданиям заказчика.

### КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Главный инженер института Валевач Иван Эдуардович.

+375(17)348-63-07, [academst@hmti.ac.by](mailto:academst@hmti.ac.by)



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Об институте</b>                                                                                                                                  | <b>3</b>  |
| <b>Ученые предлагают: актуальные разработки, исследования, измерения и испытания</b>                                                                 | <b>5</b>  |
| <b>Технология и распылительная установка с комбинированным энергоподводом для сушки и модификации материалов.</b>                                    | <b>9</b>  |
| <b>Технология и оборудование для выпуска термомодифицированной древесины</b>                                                                         | <b>11</b> |
| <b>Технология двухстадийного сжигания твердых биотоплив в кипящем слое</b>                                                                           | <b>13</b> |
| <b>Технология высокотемпературного синтеза порошков карбида кремния и других тугоплавких материалов в реакторе электротермического кипящего слоя</b> | <b>15</b> |
| <b>Технология и оборудование для каталитического синтеза многостенных углеродных нанотрубок из газообразных углеводородов в псевдоожиженном слое</b> | <b>17</b> |
| <b>Производство наночастиц методом распылительного пиролиза микронных капель растворов</b>                                                           | <b>19</b> |
| <b>Охлаждение поверхности скоростным потоком микронных капель</b>                                                                                    | <b>20</b> |
| <b>Аэродинамические устройства для повышения охлаждающей способности башенных испарительных градирен</b>                                             | <b>21</b> |
| <b>Теплонасосные установки</b>                                                                                                                       | <b>23</b> |
| <b>Системы охлаждения на основе тепловых труб и паровых камер</b>                                                                                    | <b>25</b> |
| <b>Тонкие и ультратонкие паровые камеры</b>                                                                                                          | <b>27</b> |
| <b>Система разогрева масла в обжарочной печи на базе тепловых труб</b>                                                                               | <b>28</b> |
| <b>Теплообменники на тепловых трубах для систем кондиционирования энергоэффективных зданий</b>                                                       | <b>29</b> |
| <b>Газоразделительные мембраны</b>                                                                                                                   | <b>31</b> |
| <b>Водородопроницаемые металлические мембраны и газоразделительные установки на их основе</b>                                                        | <b>33</b> |
| <b>Высокотеплопроводная карбидокремниевая керамика и изделия на ее основе</b>                                                                        | <b>35</b> |
| <b>Промышленные печи для нагрева и термообработки металла</b>                                                                                        | <b>37</b> |
| <b>Автоматическая система контроля и управления процессом газовой цементации для комплекса электропечей СШЦ-8.16/10</b>                              | <b>39</b> |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Технологии и оборудование для высокоточного формообразования и финишного полирования поверхностей прецизионных изделий                    | 41 |
| Генератор водорода на борогидриде натрия                                                                                                  | 43 |
| Виброзащита мобильных транспортных средств с использованием управляемых демпфирующих жидкостей                                            | 45 |
| Технологии термомеханического модифицирования древесины и их применение с улучшенными составами клеевых и защитно-декоративных покрытий   | 47 |
| Испытания теплозащитных материалов с использованием торцевого холловского ускорителя плазмы                                               | 49 |
| Испытания теплозащитных материалов в высокотемпературном газовом потоке                                                                   | 51 |
| Испытания стойкости материалов и конструкций к воздействию ударных нагрузок на магнитоплазменной легкогазовой метательной установке МБУ-2 | 53 |
| Комплексные исследования быстротекущих процессов в химически реагирующих средах при высоких температурах                                  | 55 |
| Фемтосекундная лазерная визуализация газодинамических процессов на экспериментальном стенде                                               | 57 |
| Турбореактивный двигатель, сопряженный с импульсной детонационной камерой сгорания                                                        | 59 |
| Установка для финишной термоимпульсной обработки металлов и пластиков                                                                     | 61 |
| Пирометр импульсный фотозмиссионный                                                                                                       | 63 |
| Источники питания специальные                                                                                                             | 65 |
| Технология восстановления деталей методом электродуговой металлизации                                                                     | 66 |
| Электродуговые плазмотроны                                                                                                                | 67 |
| Плазменно-дуговой реактор-пиролизатор РР-500                                                                                              | 69 |
| Квазистационарный сильноточный плазменный ускоритель КСПУ П-12х2                                                                          | 71 |
| Двухзеркальный автоколлимационный интерферометр с визуализацией поля рефракции                                                            | 73 |
| Инфракрасная кабина для активации функциональных резервов организма человека                                                              | 75 |
| Диагностика теплового состояния промышленного оборудования, элементов конструкций зданий и сооружений                                     | 77 |
| Математическое моделирование задач теплофизики                                                                                            | 79 |

|                                                                                                                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Исследования теплофизических свойств материалов</b>                                                                                                                                         | <b>80</b>  |
| <b>Зондовый измеритель высоких температур многоканальный помехоустойчивый</b>                                                                                                                  | <b>81</b>  |
| <b>Многофункциональный сканирующий зондовый микроскоп SSM-310</b>                                                                                                                              | <b>83</b>  |
| <b>Хроматографические исследования</b>                                                                                                                                                         | <b>86</b>  |
| <b>Нанодиагностический комплекс с функциями сканирующей зондовой и оптической микроскопии</b>                                                                                                  | <b>87</b>  |
| <b>Исследовательский комплекс для автоматизированной оценки состояния нано- и микроструктур биологических клеток in vitro методами оптической, флуоресцентной и атомно-силовой микроскопии</b> | <b>89</b>  |
| <b>Сканирующий ближнепольный оптический микроскоп</b>                                                                                                                                          | <b>91</b>  |
| <b>Устройство фильтровальное УФ-1</b>                                                                                                                                                          | <b>93</b>  |
| <b>Мембраны полиамидные микропористые</b>                                                                                                                                                      | <b>94</b>  |
| <b>Компьютерная программа «Мембраны воздухоразделительные: выбор, расчет, анализ характеристик массопереноса»</b>                                                                              | <b>95</b>  |
| <b>Компьютерная программа «Термодинамический расчет процессов в дизельных двигателях внутреннего сгорания»</b>                                                                                 | <b>96</b>  |
| <b>Компьютерная программа «Конвективный теплообмен в каналах с гладкими стенками»</b>                                                                                                          | <b>97</b>  |
| <b>Компьютерная программа «Гиперзвуковое обтекание тел вращения»</b>                                                                                                                           | <b>98</b>  |
| <b>«Умные» сети энергетики и водоснабжения (smart grids)</b>                                                                                                                                   | <b>99</b>  |
| <b>Инфраструктура облачных вычислений</b>                                                                                                                                                      | <b>101</b> |
| <b>Вычислительный кластер для задач физико-математического моделирования</b>                                                                                                                   | <b>103</b> |
| <b>Опытное производство</b>                                                                                                                                                                    | <b>104</b> |
| <b>Содержание</b>                                                                                                                                                                              | <b>106</b> |

Институт тепло- и массообмена  
имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

**АКТУАЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ, ИССЛЕДОВАНИЯ,  
ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ**

**КАТАЛОГ**

Ответственный за выпуск *С.М.Данилова-Третьяк*.  
Ответственный за редакционную подготовку  
*В.А.Карелина*.  
Дизайн и верстка *Е.С.Конева*.  
Ответственные за содержание отдельных  
инновационных предложений – контактные лица.

На 1-й странице обложки – Дифференциальное тальбот-изображение диффузионного пламени метана.

На 3-й стр. обложки – Спеклограмма и фрагменты микротечения в модели топливного элемента. Изолинии скорости в выделенном фрагменте. Поле Z-компоненты завихренности, рассчитанное в фрагменте течения.

**НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ИЗДАНИЕ,  
ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ.**

Подписано в печать дд.мм.2021.  
Формат 70 x 100<sup>3</sup>/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Гарнитура Verdana, Nagonia, Partner.  
Усл. Печ. л. \_\_\_\_\_. Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_.  
Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_.

Издатель и полиграфическое исполнение: \_\_\_\_\_

© ГНУ "Институт тепло- и массообмена им.  
А.В.Лыкова НАН Беларуси"  
УДК 536.2:532/533

