ІНСТИТУТ ГАЗУ НАН УКРАЇНИ

Наукові роботи, які завершились у 2021 році

Назва НДР *(прикладна або фундаментальна)*	Строки виконання	Керівник НДР	Мета роботи	Отримані наукові та науково-технічні результати *(кількість опублікованих статей, монографій,* *патентів, впровадження)*
1	2	3	4	5
Розробка наукових засад виробництва і використання нанорідин для підвищення безпеки та ефективності енергетичного обладнання, зокрема ядерних реакторів. Фундаментальна. Відомча.	2017-2021	**к.т.н. О.І. Ховавко**	Розробити науково-технічні засади створення та застосування стабільних нанорідин для охолодження теплонавантаженного обладнання.	Вперше в світі створено стабільні та стійкі до багатократних циклів кипіння/охолодження композитні нанорідини (НР), які забезпечують одержання найбільших критичних теплових потоків серед відомих на сьогодні НР. Поставлена і вперше вирішена задача створення НР на основі українських природних алюмосилікатів для використання в якості теплоносіїв при кипінні. Також вперше доведено здатність НР до охолодження перегрітих поверхонь (до 700-1000 ^{o}C) теплообміну, які вже знаходяться в режимі плівкового кипіння. В результаті спостерігається перехід від плівкового до бульбашкового режиму кипіння і відповідно відбувається зниження температури поверхні нагріву до прийнятних значень 130-170°C. Цим доводиться фізична можливість попередження розплавлення корпусу ядерного реактору за рахунок використання НР, а також енергетичного обладнання при критичних ситуаціях. За матеріалами досліджень опубліковано 21 роботу у вітчизняних і закордонних виданнях, захищено 1 кандидатську дисертацію, у стані підготовки ще одна.

1	2	3	4	5
Розробка та дослідження нових технологій спалювання газових палив при баластуванні зони горіння з метою зниження шкідливих викидів до атмосфери. Фундаментальна. Відомча.	2017-2021	**д.т.н. І.Я. Сігал**	Удосконалення існуючих та розробка нових технологій та методів щодо зниження викидів шкідливих речовин котлами енергетично-промислового призначення, розробка сучасного екологічно-досконалого вітчизняного обладнання з підвищенням ефективності використання хімічної енергії палива, яка виділяється при його спалюванні в котлоагрегатах.	Розроблено наукові основи спалювання газових палив при баластуванні зони горіння з метою зниження викидів оксидів азоту до атмосфери. Для різних конструкцій потужних газомазутних котлоагрегатів, зокрема, типів ТГМП, ТГМ, БКЗ, ТП, КВГМ, ПТВМ розроблено технології поєднання рециркуляції димових газів в паливо, дуттьове повітря, пальників стадійного спалювання та сопел третинного дуття при одночасній реконструкції конвективної частини котлів, у тому числі з метою підвищення енергоефективності. Проведено випробування на діючих газових котлах та лабораторно-промислових установках розроблених технологій та обладнання щодо зниження шкідливих викидів до атмосфери, удосконалено схеми роботи існуючих котлів з використанням як забаластованого окисника (повітря) так і забаластованих газових палив, що дозволить досягти зниження шкідливих викидів до атмосфери по викидам оксидів азоту та монооксиду вуглецю у відповідності до директив ЄС з одночасним подовження ресурсу основних типів котлів ТЕЦ і потужних котелень на 15-20 років. Під час виконання досліджень з рядом підприємств України було укладено додаткові господарчі договори щодо впровадження частини результатів роботи. За матеріалами роботи опубліковано 15 статей та отримано 7 патентів України.

1	2	3	4	5
Розвиток фізико-хімічних засад і моделювання новітніх методів низькоемісійного горіння та пальникових систем, в умовах кліматичних змін. Фундаментальна. Відомча.	2017-2021	**д.т.н. Б.С. Сорока**	Основна мета досліджень – розвинути наукові засади нетрадиційних перспективних, але мало вивчених методів горіння з низькими та надзвичайно низькими викидами оксидів азоту та вуглецю: а) спалювання у зволоженому середовищі або при наявності водяної пари HUMID (WET) Combustion, б) заміна традиційних методів спалювання в умовах підготовки горючої суміші (горючий газ – окислювач, перш за все – повітря горіння) високотемпературним окисленням палива без обмеження співвідношення «окислювач:паливо» (0 ¸ ¥) FLOX (Flameless Oxidation); – визначити взаємний вплив: клімату (через температурний режим та урахування вологості повітря) – на процеси горіння, з одного боку, та використання палива – на зміну глобального клімату.	Розвинуті фундаментальні положення теорії горіння для випадку спалювання дво- та багатокомпонентних палив, включаючи термодинаміку та кінетику хімічних реакцій відповідно до сучасних механізмів горіння та утворення шкідливих речовин; процеси аеродинаміки, тепломасообміну в факелі, а також енергетичну ефективність топкових систем. Розглянуті методи попередження кліматичних змін, окремо і в сполученні із скороченням шкідливих викидів. Визначені шляхи запобігання парникового ефекту та декарбонізації навколишнього середовища за рахунок оптимізації складу палива. Виконаний комплекс розрахунково-теоретичних та експериментальних робіт зі створення трубчастих теплообмінників – утилізаторів теплоти. З метою суттєвої інтенсифікації теплообміну, зменшення робочої температури в каналах на 200°С та супутнього збільшення термічної стійкості конструкцій апаратів запропоновано оснащення середньо- та високотемпературних утилізаторів теплоти внутрішніми вставками – вторинними випромінювачами. За матеріалами роботи опубліковано 11 статей в вітчизняних та закордонних журналах, підготовлена і захищена кандидатська дисертація. За 3-стронньою угодою: ІГ НАН (Україна) – Gas Technology Institute (GTI, США) – УНТЦ – створена конструкція, спроектований (Україна), виготовлений та встановлений на печі вторинного плавлення алюмінію (США, Каліфорнія) трубчастий рекуператор.

1	2	3	4	5
Науковий проєкт «Розроблення енергоефективних технологій та обладнання для зрідження та транспортування природного газу» (LNG)» (1230). Фундаментальна. Конкурсна..	2020-2021	**д.т.н. Г.В. Жук**	Розроблення енергоефективних технологій та обладнання для зрідження та транспортування природного газу	Проведено комплексне дослідження технологічних схем зрідження природного газу (метану) з застосуванням математичного моделювання та термодинамічного аналізу процесів фазового перетворення складних вуглеводневих сумішей. Створено першу в Україні дослідну установку для зрідження природного газу (LNG) за схемою дросельного циклу високого тиску з попереднім охолодженням. Установка ефективно поєднує охолодження природного газу дроселюванням та холодильним агрегатом, з застосуванням теплообмінної рекуперації власної конструкції та виготовлення. Установка призначена для малотонажного виробництва зрідженого метану з високою для такого класу (до 1,5 т/год) енергоефективністю (менше 1 кВт·год/кг) та відповідає міжнародним стандартам високого рівня. Промислові установки подібного класу призначені для використання на автозаправних комплексах (НАК Нафтогаз, УкрАвтоГаз) та на малодебітних свердловинах (АТ Укргазвидобування).
Теоретичне та експериментальне дослідження можливостей аварійного охолодження корпусу ядерних реакторів та іншого енергетичного обладнання за допомогою новітніх нанорідин (1230). Фундаментальна. Конкурсна.	2020-2021	**к.т.н. О.І. Ховавко**	Мета роботи полягає у вдосконаленні методу створення новітніх нанорідин (НР) для потреб вітчизняних ізакордонних користувачів. Розроблення технологічного регламенту синтезу НР дозволить в подальшому напрацьовувати пілотні партії НР для проведення широкого спектру теплофізичних досліджень щодо використання	Проведено комплексне дослідження аварійного охолодження перегрітих (до 600-800 $^{\circ}$C) металевих поверхонь за допомогою нанорідин (НР). Розроблено нову НР на основі суміші алюмосилікатів з вуглецевими трубками з нетиповою тепловою поведінкою, яка витримує всі режими кипіння, зменшує час охолодження на 30-35% і підвищує інтенсивність тепловіддачі. Випробувано лабораторно систему аварійного охолодження ядерного реактора кипля-

			НР в енергетиці, включаючи атомну.	чого типу. Вперше експериментально отримано повну модельну гістерезисну криву кипіння-перегрів-охолодження. Випробувано НР в теплових трубках і мініатюрних термосифонах для охолодження електроніки – дозволяє підвищити ефективну теплопровідність на 20…30%. Проведено попереднє розрахункове обґрунтування можливості використання новітніх нанорідин при зовнішньому охолодженні корпусу ядерного реактора (КР) ВВЕР-1000 для запобігання його розплавлення під час важкої аварії за допомогою спеціалізованого коду MELCOR. Проведено промислові випробування НР при екстреному охолодженні та гартуванні сталевих та чавунних заготовок в металургійній галузі (Завод «Запорожкокс» в співпраці з НВФ «КОШ» (м. Дніпро). Охолоджувальна здатність представленої нанорідини на 42% вище ніж у воді, що використовується для охолодження відливок при і проведенні загартування. зразок оброблений нанорідиною отримав задовільні результати при проведенні дослідно- промислових випробуваннях в умовах діючого коксохімічного виробництва (Отримано акт про проведення випробувань від 10.11.2021р.)
Розробка і дослідження енергоефективної інноваційної технології синтезу дрібнодисперсного карбіду кремнію з підвищеним ступенем чистоти. Фундаментальна. Конкурсна.	2020-2021	**д.т.н. К.В. Сімейко**	Розвиток технологічного методу одержання дрібнодисперсного карбіду кремнію в реакторі електротермічного киплячого (псевдозрідженого) шару (ЕТКС) шляхом карботермічного відновлення капсульованого піровуглецем кремнезему.	Визначено хімічний склад при досягненні термодинамічної рівноваги при різних температурних значеннях процесу. Визначено теплові ефекти реакцій піролізу метану та карботермічного відновлення оксиду кремнію в залежності від температури. Для нанесення піровуглецю на кварцовий пісок без додаткового електропровідного мате-

				ріалу створена установка з комбінованим електротермічним псевдозрідженим шаром. Напрацьовано партії кварцового піску, покритого піровуглецем. У результаті проведених експериментів відновлення кварцового піску піровуглецем, який осаджувався на частинки кварцового піску під час піролізу вуглеводневих газів, внаслідок технічних складностей отримання дрібнодисперсного карбіду кремнію не є можливим. Експериментально доведено утворення карбіду кремнію з капсульованим піровуглецем кварцового піску при високотемпературній обробці в реакторі з електротермічним псевдозрідженим шаром. Синтезований з отриманого напівфабрикату порошок карбіду кремнію містить дві політипні модифікації карбіду кремнію: кубічний SiC-3C та гексагональний SiC-6H. Досліджено фізико-технічні властивості одержаного у електротермічному псевдозрідженому шарі кварцового піску, капсульованого піровуглецем, та карбіду кремнію.
Оптимізація технічних рішень щодо термічного знешкодження стійких органічних забруднювачів (СОЗ) та озоноруйнівних речовин (ОРР). Прикладна. Пошукова.	2020-2021	**к.т.н. В.В. Четвериков**	Техніко-економічне обґрунтування створення в Україні системи екологічно безпечного знешкодження небезпечних хімічних речовин.	Визначено методичні засади оптимізації технологічних параметрів термічного знешкодження відходів в технологічному комплексі на базі обертової печі. Проведено експертну оцінку прийнятності застосування існуючих в Україні технологічних комплексів на базі обертової печі для термічного знешкодження СОЗ та ОРР-вмісних відходів. Розроблено пропозиції щодо застосування модуля деструкції концентрованих СОЗ для розширення можливостей застосування існуючого технологічного комплексу. Результати роботи мають

				бути застосованими при реалізації заходів Національного плану дій щодо виконання зобов'язань за Стокгольмською конвенцією про стійкі органічні забруднювачі та вимог Монреальського протоколу про озоноруйнівні речовини. За результатами роботи опублікована одна стаття.
Розробка теплових систем та обладнання для опалення сушильних барабанів. Прикладна. Пошукова.	2020-2021	**Г.С. Марченко**	Розробка спеціальних теплогенераторів для сушильних барабанів, системи їх автоматичного управління.	Проведені в лабораторних та промислових умовах дослідження запропонованих схем та обладнання для опалення сушильних барабанів сушарок сипучих матеріалів, що використовується в Україні. Розроблено спеціальні теплогенератори для сушильних барабанів, системи їх автоматичного управління та виконано техніко економічне обґрунтування впровадження. Теплогенератори сушильних барабанів відповідають технологічним особливостям, таким як відповідна довжина факелу, надлишок повітря, що регулюється в широкому діапазоні, спроможність тривалої безупинної роботи у запилених середовищах. Розроблені рекомендації щодо удосконалення існуючих в Україні теплових систем та обладнання для опалення сушильних барабанів. За результатами роботи опублікована одна стаття та отримано один патент.
Вдосконалення методу синтезу стійких нанорідин для енергетики, зокрема атомної. Прикладна. Конкурсна.	2019-2021	**к.т.н. О.І. Ховавко**	Комплекс досліджень з вдосконалення методу синтезу стійких нанорідин для енергетики, зокрема атомної.	Розроблено технологічний регламент приготування стабільних нанорідин на основі алюмосилікатів та вуглецевих наноматертіалів. Створено складні теплофізичні лабораторні установки для комплексного дослідження теплофізичних властивостей нанорідин в динамічних режимах. Освоєно ультразвукове й кавітаційне обладнання для напрацювання тестових партій нанофлюїдів. Перевагами розроблених водно-алюмосилікатних нанорідин в

				якості теплоносіїв є висока колоїдна стійкість та стабільність до багаторазових циклів кипіння-охолодження, високі теплові параметри: критичний тепловий потік (КТП), коефіцієнт тепловіддачі (КТВ) Отримано укрупнену дослідну партію (20 л) концентрату, що дає можливість отримати понад 200 л готової нанорідини на основі TiO_2 для гартування та охолодження теплонавантаженого металургійного обладнання, зокрема мідних фурм, що працюють в доменних печах, при гартуванні чавунних плит вагонів для транспортування коксу та в термосифонах.
Розроблення нових технологій зниження викидів NO_X газовими котлами теплоенергетичних підприємств міст України з метою виконання директив ЄС. Прикладна. Конкурсна.	2019-2021	**д.т.н. І.Я. Сігал**	Розроблення нових технологій зниження викидів оксидів азоту, що ґрунтуються на поєднанні декількох методів зниження викидів NO_X, для досягнення нормативних питомих показників викидів оксидів азоту існуючими газовими котлоагрегатами теплоенергетичних підприємств міст України у відповідності до директив ЄС 2010/75/EU та (EU) 2015/2193, з найменшими капітальними та експлуатаційними витратами.	Отримані експериментальні результати випробування технологій, направлених на зниження викидів NO_X, проведені на лабораторних та лабораторно-промислових стендах (котлоагрегатах Доведена технічну можливість подачі до 30% димових газів в дуттьове повітря котла (з точки зору стійкості горіння максимальний відсоток газів рециркуляції з діапазону $20\% < r \leq 30\%$ для кожного типу котлоагрегату вибирається окремо). При цьому, за рахунок збільшення об'єму суміші повітря та димових газів зменшується теплосприймання в топці (знижується адіабатна температура на близько 15% до ≈1630 ºС), але передача тепла збільшується в наступних поверхнях нагріву, зокрема, завдяки збільшенню швидкостей димових газів, відповідно, коефіцієнтів теплопередачі і, як наслідок, температура утвореної суміші повітря і ДГ, що йде на горіння збільшується на 11% з 188 ºС до ≈210 ºС (що допустимо для вибраного типу повітряпідігрівача),

				а температура відхідних димових газів збільшується на 16% з 129 ºС до ≈150 ºС (ККД котлоагрегату знижується на близько 1%) та, при цьому, концентрація кисню в дуттьовому повітрі зменшується до 16,1% і є мінімально-можливою з умов горіння. Також, при введенні газів рециркуляції майже у всіх проведених варіантах теплового розрахунку необхідне зменшення поверхонь нагріву первинного пароперегрівача до 15% та вторинного до 30%. Показано, що для котлоагрегатів які відпрацювали свій заводський призначений ресурс найбільш економічно-обґрунтовано деяке зниження номінальної потужності котлоагрегату (на 20-40%, в залежності від технічного стану, при цьому номінальна теплонапруга топкового об'єму зменшується) та застосування рециркуляції димових газів шляхом використання існуючого тяго-дуттьового обладнання (перепуск ДГ з виходу димососу на всас дуттьового вентилятора) з реконструкцією штатних пальників в стадійного спалювання, що дозволяє досягти вимог директиви IED щодо викидів NOx, не погіршити техніко-економічні показники котлів і навіть дещо підвищити їх фізичний ресурс. Розроблено ескізний проект реконструкції типової ТЕЦ з котлами БКЗ-75ГМА з метою приведення питомих викидів до атмосферного повітря у відповідність до нормам директиви IED при її роботі як на природному газі так і з використанням резервного палива – мазуту.

1	2	3	4	5
Розроблення науково-технологічних основ отримання синтез-газу з суміші небезпечних органічних відходів. Прикладна. Конкурсна.	2019-2021	**чл.-кор. НАН України В.А. Жовтянський**	Проведення комплексу досліджень направлених на стволрення технології і обладнання для синтез-газу з суміші небезпечних органічних відходів	Проведені лабораторні дослідження та детальне моделювання процесів плазмово-парокисневої газифікації донних мулів станцій аерації та гумового кришива зношених автомобільних шин як окремо, так і в суміші, з точки зору стехіометрії отримання синтез-газу $CO + H_2$. Показано, що в середньому по робочій зоні реактора кінцеві залежності для теплової енергії, яка виділяється в реакторі за рахунок хімічної реакції газифікації сировини, та для хімічної енергії отримуваного синтез-газу мають універсальні лінійні залежності від кількості кисню, який уводиться в процес, зокрема – в нестехіометричних режимах. Найбільш ефективним є використання плазмотрона в режимі, коли досягається синергетичний ефект від його використання – наприклад, у високотемпературній зоні реактора. Отримані результати можуть стати основою для розроблення демонстраційного реактора для перероблення відходів середньою продуктивністю 200-400 кг/год.