

УДК 504.06

**Б.І. БОНДАРЕНКО**, академік НАН України, д.т.н., професор, директор  
**Б.К. ІЛЬЄНКО**, к.т.н., с.н.с., учений секретар  
Інститут газу Національної академії наук України (ІГ НАН України), м. Київ

## РОЗРОБКИ ІНСТИТУТУ ГАЗУ НАН УКРАЇНИ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА\*

Надана інформація про основні розробки Інституту газу Національної академії наук України у галузі охорони навколишнього природного середовища. Наведені показники з розробок щодо захисту атмосферного басейну, очистки промислових та стічних вод, ліквідації розливів нафтопродуктів, утилізації побутових та промислових відходів, у т.ч. небезпечних хімічних та радіоактивних.

**оксиди азоту, біогаз, агрогаз, термokatалітичні реактори, терморозширений графіт, занурене спалювання, хімічні та радіоактивні відходи**

Розробки в галузі охорони навколишнього природного середовища – це один із пріоритетних напрямів наукової діяльності інституту. До вказаних розробок належать дослідження з охорони повітряного басейну при спалюванні природного газу в промислових печах та теплоенергетичних установках, що направлені на зниження вмісту оксидів азоту в продуктах згоряння шляхом створення відповідного газоспалювального обладнання; розробка методів та обладнання для зниження шкідливих газоподібних викидів в атмосферу промислових підприємств (термічні та каталітичні методи), розробка сорбентів та технологій їх використання для очищення промислових та стічних вод, а також ліквідації розливів нафти, нафтопродуктів та інших речовин органічного походження; розробка наукових та технологічних засад зниження обсягу небезпечних відходів промислових підприємств та побутових відходів тощо. Підґрунтям до розробки вказаних технологій та обладнання є цілеспрямовані фундаментальні дослідження, що базуються на вивченні термодинаміки, кінетики, тепло- та масообміну, теорії горіння, промислового каталізу, низькотемпературної плазми, математичного та фізичного моделювання об'єктів досліджень відповідно до вирішення завдань природоохоронних технологій.

У відділі охорони повітряного басейну від забруднення під керівництвом професора І.Я. Сігала вперше в колишньому СРСР та за його межами створений новий науковий напрямок та наукова школа з комплексного вивчення умов зниження токсичності продуктів згоряння палива,

утворення оксидів азоту в топкових процесах та розробці методів спалювання палива з мінімальним утворенням оксидів азоту. Розроблені теорія та методи зниження змісту оксидів азоту рециркуляцією продуктів згоряння, двоступінчастим спалюванням газу, позонним регулюванням теплового навантаження котла впроваджені на багатьох електростанціях та опалювальних котельнях України та колишнього СРСР. І.Я. Сігалом та його співробітниками також розроблені наукові основи та засоби термічного знешкодження газових викидів промислових підприємств шляхом об'єднання енергетичних та промислових виробництв, які впроваджені на промислових підприємствах в один комплекс з метою очищення викидів безпосередньо в технологічному циклі. Розвинуто роботи з хімії атмосфери, що направлені, зокрема, на подальше перетворення оксиду азоту у викидах потужних енергоблоків у двоокис азоту. Виконано значні енергозберігаючі розробки у промисловій та комунальній енергетиці. Вперше в Україні на котлах енергоблоків потужністю 300 МВт та потужних (до 200 МВт) водогрійних котлах проведені великомасштабні дослідження режимних та конструктивних параметрів, що направлені на зниження утворення оксидів азоту з використанням двоступеневого спалювання природного газу та інші заходи. Впровадження розробки дозволило досягнути зниження утворення оксидів азоту на 50–60 % без зниження ККД.

Професором Б.С. Сорокою проводяться фундаментальні дослідження в галузі енергоекології, які містять рі-

\* Стаття опублікована по матеріалам XVI Международной конференции «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов», г. Щелкино, АР Крым, 2008 г.



шення систем рівнянь хімічної кінетики та газодинаміки з метою визначення умов зниження утворення оксидів азоту при спалюванні природного газу. На основі проведених досліджень уперше отримані наукові узагальнення та рекомендації щодо створення низькоемісійних систем спалювання. Розроблені плоскополум'яні пальники нового покоління для систем опалення вискоефективних екологічно чистих промислових печей для теплової обробки металевих та неметалевих матеріалів. Застосування плоскополум'яних пальників змінило конструктивні схеми печей, які отримали назву печей непрямого радіаційного нагріву. Створена нова конструкція низькоемісійних пальників високої стійкості щодо навантажень та надлишків повітря. Рівень шкідливих викидів відповідає міжнародним та національним стандартам.

В інституті виконані дослідження з вивчення умов зменшення викидів оксидів сірки вугільними ТЕЦ. На Дарницькій ТЕЦ була створена напівпромислова установка, на якій доопрацьовувалась технологія поглинання сірчаних сполук при спалюванні вугілля українських родовищ. На енергоблоках потужністю 200 МВт Зміївської та Старобешівської ТЕС були проведені дослідження процесів вловлювання диоксиду сірки існуючими скруберами при спалюванні АШ та кам'яного вугілля. Дослідами експериментально показано, що скрубери, якими обладнані енергоблоки потужністю 200 МВт електростанцій України, поряд зі зниженням викидів золи також частково забезпечують зниження викидів оксидів сірки та азоту. Доведено також, що в умовах експлуатації скрубєрів з трубами Вентурі досягається зниження викидів оксидів сірки в межах 8–12 % та оксидів азоту в межах 6–7 %.

Стосовно металургійних підприємств: розроблено енергоозберігаючу технологію знешкодження агломеративних газів. Металургійні підприємства належать до найбільших забруднювачів повітряного басейну України. При виробництві 1 млн т агломерату викиди токсичних речовин у середньому складають (т): CO – 35 000; NOx – 450; SO<sub>2</sub> – 2360. Технологія каталітичного очищення для таких великих обсягів речовин, як аглогази, є багатовитратною. Розроблено термічну технологію знешкодження аглогазів, що не має аналогів та передбачає використання аглогазів в суміші з повітрям для спалювання палива в котельних агрегатах. Впровадження технології дозволяє за рахунок використання паливних компонентів аглогазів та їх фізичної теплоти знизити витрати палива у котлоагрегатах на 4–5 %, а також знизити витрати на сіркоочистку. Розроблена технологія дозволяє знизити на 100 % викиди CO і на 50–55 % викиди NOx. Економічний ефект оцінюється обсягом упровадження з урахуванням зниження витрат палива і досягає більше ніж 150 млн грн на рік. Термін окупності розробки – 1,5 року.

Значним забруднювачем атмосферного повітря є біогаз, який утворюється у процесах зброджування осаду в метантенках систем аерації очищення стічних вод, у смітниках, на промислових підприємствах та в аграрному секторі. Біогаз містить близько 50–60 % метану, 30 % двоокису вуглецю, а також невелику кількість сірководню. В Україні щорічно утворюється та викидається в атмосферу більше 1,5 млн м<sup>3</sup> біометану, тому утилізація біогазу як палива, а також його використання для виділення метану та виробництва двоокису вуглецю дозволяє досягти значної економії природного газу та у значній мірі сприяти виконанню умов Кіотського протоколу щодо викидів парникових газів у навколишнє природне середовище. На вирішення вказаної проблеми розроблені пальники для спалювання біогазу з урахуванням характерної для цього процесу низької межі стійкого горіння, які можуть працювати у широкому діапазоні витрат газу та без примусової подачі повітря. Розробка впроваджена на Бортничській станції аерації ДКО «Київводоканал».

Під керівництвом О.І. Пятничка розроблена та впроваджена у США технологія й устаткування для збору, очищення і використання біогазу міських смітників побутових відходів з отриманням очищеного газу концентрацією CH<sub>4</sub> – 94,6 %, CO<sub>2</sub> – 2,7 %, O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> – 2,7 %, який подається у блок осушки і направляється у магістральний газопровід. Виділений з абсорбенту 98–99 % двооксид вуглецю може бути використаний для виробництва сухого льоду або рідкого двооксиду вуглецю. На розробленому устаткуванні виробляється 2300 нм<sup>3</sup>/год метану та 1500 нм<sup>3</sup>/год двооксиду вуглецю. Вартість устаткування і впровадження – 4,5 млн грн. Термін окупності – 4 роки.

В інституті розроблені та впроваджені в промислову практику термokatалітичні реактори, які призначені для очищення газових викидів, що містять токсичні органічні сполуки. Розроблені реактори серії ТКР з утилізацією теплоти газових викидів продуктивністю щодо знешкодження газів від 3 до 50 тис. м<sup>3</sup>. У реакторах можуть бути використані каталізатори з різними за формою носіями – як із блоковою щільною структурою, так і гранульовані. Ступінь очищення газоповітряних викидів, що містять шкідливі органічні сполуки (при концентраціях до 6 г/м<sup>3</sup>), перевищує 96 %. Застосування рекуперативного теплообмінника для попереднього нагрівання газових викидів забезпечує утилізацію 60 % тепла знешкоджуваних газів. Реактори характеризуються низькими питомими витратами палива та низькою металоємністю, забезпечені системою автоматичного регулювання технологічним процесом. Розроблені також технологія та обладнання для очистки промислових викидів, що містять сполуки фтору, у виробництві скла.

Інститут має багаторічний досвід у галузі розробки наукових засад створення вуглецевих сорбентів, вивчен-



ня їх властивостей та технологій виробництва відповідно до систем очистки промислових стоків. Вивчені термодинаміка та кінетика взаємодії вуглецю з водяною парою, формування пористої структури та фізико-хімічні характеристики вуглецевих сорбентів. Розроблені промислові технології та обладнання парогазової активації вуглецевих матеріалів (бурого, кам'яного вугілля та антрациту) з метою виробництва активованого вугілля. Дані розробки були широко впроваджені на промислових виробництвах колишнього СРСР.

Іншим аспектом досліджень інституту в галузі використання вуглецевих матеріалів є розробки щодо створення наносорбентів – поглиначів нафти, нафтопродуктів та інших рідин органічного походження. Найбільш ефективною сферою використання наносорбентів є ліквідація аварійних розливів агресивних рідин: нафтопродуктів, рідких отруйних речовин, органічних рідин тощо та збір зазначених рідин з поверхонь водойм, а також ґрунту (рис. 1).

Наносорбент – терморозширений графіт (ТРГ), який здобуто за розробленою в інституті технологією, є високооб'ємною модифікацією графіту, що отримано внаслідок багатостадійної хіміко-термічної переробки природного кристалічного графіту. ТРГ має низьку насипну щільність ( $2\text{--}5\text{ кг/м}^3$ ) і високу питому поверхню, що зумовлює його високі поглинальні здатності. Поглинач виробляється у 3-х модифікаціях:

1. Поглинач порошковий – має насипну ємність  $3\text{--}5\text{ кг/м}^3$ , поглинальну ємність  $40\text{--}50\text{ кг}$  нафтопродукту на  $1\text{ кг}$  поглинача.

2. Поглинач таблетований – таблетки різної форми насипною ємністю  $30\text{--}50\text{ кг/м}^3$  і поглинальною здатністю  $20\text{--}30\text{ кг}$  нафтопродукту на  $1\text{ кг}$  поглинача.

3. Поглинальні мати – плоскі мішки з нафтостійкого матеріалу, заповнені порошковим поглиначем, поглинальною ємністю  $20\text{--}30\text{ кг}$  на  $1\text{ кг}$  порошку.

При використанні поглинач наноситься на розливу рідину, швидко всмоктує її у себе та утримує. Пляма розливу ліквідується шляхом збору поглинача разом з поглиненою рідиною, при цьому ступінь очищення, наприклад, забрудненою нафтою або нафтопродуктами акваторії досягає  $99,99\%$ . Поглинений нафтопродукт у кількості  $70\text{--}80\%$  від розлитого відокремлюється від поглинача і використовується за призначенням. Відпрацьований поглинач регенерується у спеціальній печі, а залишки нафтопродукту використовуються як додаткове паливо в процесі регенерації. Регенований поглинач може бути повторно використаний; при цьому кількість циклів «насичення – вичавлювання – регенерація» може досягти  $5\text{--}7$ .

Терморозширений графіт виробляється не тільки в стаціонарних установках. Розроблено проект, за яким ТРГ виробляють на автономних пересувних установках.



**Рисунок 1 – Портативний генератор нафтосорбенту для ліквідації локальних розливів нафтопродуктів**

Пересувні установки монтуються на кузові автомобіля, доставляються до місця аварії і виробляють до  $3\text{--}4\text{ м}^3$  порошкового сорбенту безпосередньо на місці ліквідаційних робіт. Така установка споживає  $10\text{ кг/год}$  дизельного палива і забезпечена достатньою кількістю сировини. Габаритні розміри пересувної установки –  $6\text{х}2,5\text{х}2\text{ м}$  (стандартний контейнер).

Розроблений поглинач – терморозширений графіт був використаний при ліквідації наслідків аварії, яка призвела до виливу в акваторію р. Дніпро восьми тонн бензину, шляхом його збору з поверхні води і подальшим виділенням і використанням. До речі, згідно з висновками фінської фірми «Clean water», що досліджувала всі наносорбенти, які є на ринку Євросоюзу, наш ТРГ – єдиний сорбент, що поглинає і утримує бензин.

Вище вказувалось на розробки інституту щодо використання біогазу міських звалищ. Крім вказаного нами розроблена технологія спалювання сміття за так званою «розімкнутою» схемою, де, на відміну від існуючих сміттєспалювальних заводів спалювання сміття здійснюється у спеціальній високотемпературній печі. Зазначена піч не охолоджується поверхнями для утилізації теплоти продуктів згоряння, їх використання здійснюється у спеціальному котлоагрегаті. Це дозволяє застосувати систему термічного допалювання шкідливих газоподібних викидів, що забезпечує високий рівень санітарного очищення газів. Обладнання розробленого міні-заводу потужністю  $1,0\text{--}2,0\text{ т/год}$  складається з печі термічного знешкодження газів, котла-утилізатора та триступінчастої система газоочистки. Як котли-утилізатори можуть бути використані водогрійні або парові котли. При паропроductивності котла  $2\text{ т/год}$  і вище міні-завод комплектується паровим





котлом з турбіною й електрогенератором, що забезпечує власні потреби заводу в електроенергії.

Стосовно заводу з переробки твердих побутових відходів і бурових шлаків продуктивністю 2,7 т/год кількість виробленої електроенергії дозволяє задовольнити власні потреби, а також використовувати її на продаж для зовнішніх мереж. Коштів від продажу електроенергії і будівельних матеріалів, отриманих зі шлаків заводу, досить для покриття витрат на оплату природного газу і одержання прибутку.

В інституті розроблені технологія та обладнання для зануреного горіння природного газу з метою отримання мінеральних розплавів. Дана технологія отримала широке впровадження в Україні та за її межами (США, Іран, Білорусія) для виробництва тепло- і звукоізоляційних мінераловатних матеріалів і кам'яного лиття. Ліцензія на цю технологію придбана GTI (США). Важливим аспектом її використання є можливість знешкодження залишків термічної переробки твердих побутових відходів (ТПВ) та їх переробки безпосередньо в плавильній печі. Вказана технологія може бути використана для переробки радіак-

тивних відходів після переведення останніх в рідку фазу. На промисловій печі за результатами модельних досліджень, проведених на нашому обладнанні в GTI (США) доведена можливість вітрифікації (скловування) 82–85 % цезію, 80–97 % стронцію, 10–75 % рутенію (рис. 2, 3).

Вказаний принцип поглибленого горіння з отриманням мінеральних розплавів використано також при розробці дослідної плавильно-піролізної барботаژної печі продуктивністю 100 кг на годину для іммобілізації токсичних компонентів полігону твердих побутових відходів. Проведено серію дослідних плавок, отримані результати підтверджують перспективність запропонованої технології. Зокрема, на даній установці проведені експериментальні дослідження процесів термічної деструкції та нейтралізації відходів пестицидів. Деструкція здійснювалася безпосередньо в барботажній плавильній печі при температурі 1200–1300 °С. Визначені оптимальні параметри процесу деструкції, про що свідчать результати аналізів на остаточний вміст препарату в димових газах та мінеральному залишку, виконаних Інститутом екології та токсикології МОЗ України. Результати досліджень показали, що обраний технологічний режим та склад шихти сприяють зв'язуванню хлорвміщуючих продуктів деструк-



Рисунок 2 – Промислова установка з переробки металургійних шлаків у мінеральне волокно (Іран)

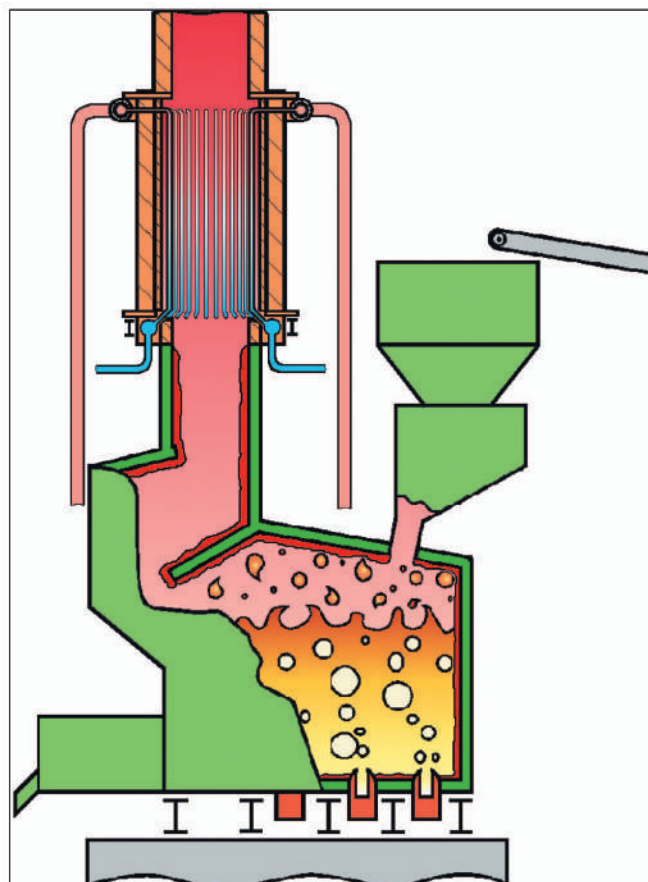


Рисунок 3 – Схема печі зануреного спалювання природного газу для отримання мінеральних розплавів



ції в мінеральному залишку, що значно спрощує роботу системи газоочищення. Вивчені можливості поліпшення умов зв'язування хлорвміщуючих компонентів в розплаві шляхом додавання в шихту карбонатів та сульфатів лужних металів. Визначені фактори, що впливають на ефективність тепло- та масообміну при рециркуляції розплаву між зонами зануреного під воду теплоносія та піролітичної деструкції препаратів.

До новітніх розробок інституту в галузі охорони навколишнього середовища слід віднести технологію та обладнання для термічного знешкодження замасленої глини – відходів фільтрації на масложирових комбінатах. Призначення розробки – зниження забруднення навколишнього природного середовища та використання теплоти, отриманої при термічному знешкодженні, для виробництва технологічної пари. Технологічна лінія містить у собі обертову піч, теплогенератор, котел-утилізатор та газоочисне обладнання. Продуктивність щодо замасленої глини – 0,5 т/год при вмісті масла до 40 %, виробляється 1,5 т пари тиском  $P = 1$  МПа. Строк окупності розробки – 2 роки. Розробка впроваджується на Іллічівському масложировому комбінаті.

Розроблена технологія термічного знешкодження рідких відходів, зокрема фенольної води нафтопереробних підприємств. Розробка впроваджена на Кременчуцькому НПЗ замість французької технології, згідно з якою для термічного знешкодження фенольної води спалювали дизельне паливо об'ємом до 200 кг/год і для розпилювання його та води використовувалась перегріта пара високого тиску ( $8 \text{ kg/cm}^2$ ). Технологія Інституту газу НАН України передбачає використання тільки заводського газу нафтопереробки, надлишок якого часто спалюється у факелах, а розпилювання води відбувається за рахунок її тиску. При цьому значно зменшується негативний ефект від спалювання факельного газу.

Дана інформація об основних розробках Інституту газу НАН України в області охорони окружающей природной среды. Приведены результаты разработок, касающихся защиты атмосферного бассейна, очистки промышленных и сточных вод, ликвидации разливов нефтепродуктов, утилизации бытовых и промышленных отходов, в т.ч. опасных химических и радиоактивных.



**Рисунок 4 – Дослідно-промислова установка для паро-плазмового піролізу полімерних та органічних матеріалів**

Розроблено наукове обґрунтування знешкодження особливо небезпечних медичних відходів в паро-плазмовій піролізній печі. В інституті завершується будівництво дослідно-промислової установки, яка забезпечує переробку таких відходів. Згідно з розробленою технологією відходи розігріваються до температури  $1000\text{--}1600^\circ\text{C}$  та обробляються паровою плазмою, що генерується плазмотроном. Матеріали відходів при цьому дисоціюються на водень, оксид вуглецю, вуглець у вигляді аерозолі, парів металів та їх сполук, сполук хлориду водню, сірководню та суміші ряду хімічних сполук. Для очистки зазначених газів створена система газоочистки. Установа також призначена для паро-плазмового піролізу полімерних та інших органічних матеріалів, а також паро-плазмової конверсії вуглецевих матеріалів (рис. 4).

*Поступила в редакцию 10.04.2008*

Information about the basic developments of the Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine in the sphere of environmental protection is given. Data concerning air protection, effluent water, breakdown elimination of oil spill, household and industrial wastes recovery, including hazardous chemicals and radioactive wastes are presented.