

ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу

КОЗИЯ Івана Сергійовича

«НАУКОВІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ НА ДОВКІЛЛЯ»,

представлену до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Актуальність дисертаційної роботи. Розробляння наукових основ захисту атмосферного повітря як рівноцінної гідросфері та літосфері компоненту навколишнього природного середовища від техногенного негативного впливу газових аерозольних викидів від промислових об'єктів, основною фракцією дисперсної фази яких є дрібнодисперсний пил (зокрема, PM_{2.5}), є вкрай актуальною для нашої країни темою дисертаційного дослідження – як у воєнний час, так і з огляду на перспективу повоєнної відбудови та відновлення економіки.

Принципово невід'ємна специфіка виробничої діяльності підприємств ряду найважливіших галузей для будь-якої промислово розвиненої країни світу – металургійної, гірничо-видобувної, деревообробної, виробництво будівельних матеріалів, харчової тощо, а також потужних об'єктів паливно-енергетичного енергогенеруючого комплексу – полягає в тому, що навіть їх нормальна (безаварійна) робота супроводжується потужним забрудненням компонентів довкілля газовими викидами у атмосферне повітря, що містять зважені тверді та/або рідинні частинки.

Нагальна необхідність вирішення проблеми таких аерозольних викидів обтяжується кількісним аспектом (масова витрата газопилової суміші, концентрація дисперсної фази) та якісним аспектом (компонентний та фракційний склад дисперсної фази). Зважаючи на вказані міркування, можна однозначно стверджувати, що єдиним шляхом досягнення поставленої мети – забезпечення законодавчо встановленого рівня значень показників екологічної безпеки густонаселених урбанізованих екосистем, до атмосфери яких і надходять такі викиди – є побудова системного підходу, який виступає методологічною основою та сукупно включає моніторинг екобезпечного стану повітря з врахуванням кліматичних, погодних і географічних особливостей місцевості, комплексне оцінювання параметрів джерела забруднення та показників життєдіяльності реципієнтів негативного впливу, ретельне всебічне дослідження поллютанту та процесів його генезису, моделювання процесу розповсюдження поллютанту в компонентах довкілля, побудова технологій захисту навколишнього середовища, розробка нових та вдосконалення існуючих виконавчих пристроїв таких технологій у частині робочих процесів та конструктивних особливостей, надання економічної оцінки екологічній шкоді та ефективності впровадження наукового



продукту і практичного доробку, розроблення і вдосконалення відповідної нормативно-правової бази.

Охоплення усіх означених напрямів, послідовна побудова усього ланцюга для забезпечення гарантованого досягнення сформульованої вище мети з мінімізацією грошових, матеріальних, енергетичних, трудових витрат, потребує розробки відповідного науково обґрунтованих методологічних основ, інструментарію, чому і присвячено рецензовану дисертаційну роботу на здобуття наукового ступеня «доктор технічних наук» за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека, а відсутність такого комплексу з методології та інструментарію власне і складає основну проблему, яку здобувач вирішує.

Таким чином, на думку опонента, актуальність обраної теми дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ зумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованих методології та інструментарію для комплексного вирішення проблеми захисту атмосферного повітря від аерозольних газових викидів промислового походження.

Вирішенню описаних вище науково-практичних завдань присвячена тема дисертаційної роботи здобувача Івана КОЗІЯ, котра у повній мірі відповідає актуальним завданням у сфері забезпечення прийняттого чи законодавчо нормованого рівня екологічної безпеки атмосферного повітря у масштабах крупних промислових об'єктів – джерел пилового забруднення.

Згідно до поставлених за тематикою дисертаційного дослідження здобувача питань щодо окресленої науково-технічної проблеми в сфері екологічної безпеки метою роботи є розроблення нових та вдосконалення існуючих наукових основ зниження техногенного навантаження на компоненти довкілля від газових викидів промислових виробництв, що містять дрібнодисперсний пил, на основі комплексного підходу, а саме: розроблення методів прогнозування забруднень, сукупно зі створенням методик вибору, розробки й використання високоефективного пилогазоочисного обладнання.

Об'єктом дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ є техногенний негативний вплив промислових газових викидів, що містять дрібнодисперсний пил, на довкілля.

Предметом дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ є системний підхід до зниження техногенного негативного навантаження на компоненти довкілля від промислових газових викидів, що містять дрібнодисперсні зважені речовини.

Актуальність теми дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ, крім того, що тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямам розвитку передумов для ефективного запобігання, зменшення й контролю промислового забруднення в Україні на 2019–2028 рр. згідно «Концепції реалізації державної політики у сфері промислового забруднення» і Національному плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2023–2025 рр. із заходу «Розроблення планів поліпшення якості атмосферного повітря для зон та агломерацій», додатково підтверджується зв'язком її з науковими програмами, планами та темами, що виконуються у рамках науково-дослідних робіт кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та

теплоенергетики» (номер державної реєстрації 0116U006606, строки виконання 01.03.2016–31.12.2021 рр.) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України, в яких здобувач брав участь як виконавець, а також у дисертаційній роботі використані результати досліджень, здійснених під час виконання договору на розроблення та передавання науково-технічної продукції з теми: «Комплексні послуги у галузі екології для підприємств, установ та організацій» (№ 51.16-2019.СП/107, строки виконання 01.05.2019–30.10.2022 рр.), у якій здобувач брав участь як відповідальний виконавець.

Ступінь обґрунтованості й достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації. Основною науково-практичною проблемою у сфері екологічної безпеки, яка досліджується в дисертаційній роботі здобувача Івана КОЗІЯ, є захист атмосферного повітря від техногенного впливу викидів промислових підприємств, які є потужними джерелами викидів аерозолі, дисперсною фазою якого є пил, у атмосферне повітря густонаселених місцевостей. Науково-методологічні основи такого захисту базуються на розробці наукових основ підвищення рівня екологічної безпеки викидів промислових підприємств і зниження техногенного впливу від дрібнодисперсного пилу на основі виконаних теоретичних досліджень та експериментальних даних.

Таким чином, висновки та практичні результати дисертаційного дослідження належним чином обґрунтовані та є виключно достатніми за сумою отриманих у дисертації нових наукових положень.

При послідовному і повному вирішенні поставлених у дисертації завдань здобувачем Іваном КОЗІЄМ застосовані класичні та інноваційні методи дослідження: системний, фізичне та математичне моделювання процесів впливу газових аерозольних викидів промислових виробництв на довкілля; методика кореляційно-регресійного аналізу для дослідження впливу дрібнодисперсних зважених речовин на здоров'я людини; аналітичні методи для дослідження процесів взаємодії пилогазового потоку з рідиною, розсіювання пилу в атмосфері, експериментальні методи дослідження ефективності роботи апарата. При здійсненні експериментальних досліджень були використані такі методи: аспіраційного відбору проб повітря, рентгеноскопії (растровий електронний мікроскоп Ремма-М), електронної мікроскопії та гравіметрії (дискова центрифуга фракційного розподілу X-ray Disc Centrifuge Particle Size Analyzer Ver. 3.78) для аналізування дрібнодисперсних зважених речовин. При здійсненні моделювання розсіювання дрібнодисперсних зважених речовин використане рівняння поширення домішок у турбулентному середовищі, його розв'язано за допомогою методу покоординатного розщеплення та з використанням ітераційно-рекурсивного методу. Також використані методи оптимізації вибору природозахисного обладнання на підставі аналізування баз даних забруднюючих речовин, технологічних умов середовища та пилогазоочисного обладнання. При ілюстрації результатів дослідження (побудови графів) використано методику UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) та параметризовану оптимізацію. Слід зазначити, що при виконанні дисертаційного дослідження розроблено програмний алгоритм вибору обладнання, що реалізований в середовищі Google-Таблиці за методом послідовної ієрархічної кластеризації. Аналіз даних здійснювався з використанням програмних продуктів Statistica

версії 13.0.0.0 (PTC Software Inc., 2017 р.), PTC Mathcad Prime 7 (© PTC Inc. (PTC), 2021 р.), ЕОЛ+ 5.3.8 (КБСП «Топаз», 2017 р.), Google-Таблиці (Google Inc., 2021 р.).

Основні складові дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ базуються на результатах аналізу широкої кількості сучасних наукових публікацій (у списку джерел посилання дисертації міститься 287 позицій) і взаємопов'язаного й послідовного комплексу виконаних здобувачем теоретичних і експериментальних досліджень. Нові наукові результати отримані здобувачем відповідно до розроблених і вдосконалених ним методик, із застосуванням сучасних методів вимірювань належним чином атестованими засобами вимірювальної техніки, ретельно проаналізовано та описано.

При детальному критичному аналізі рукописів дисертації та автореферату не виявлено сумнівних, неоднозначних чи необґрунтованих висновків і тверджень, ознак академічного чи інших видів плагіату, ознак фальсифікації чи фабрикації даних. Таким чином, ступінь обґрунтованості, достовірність нових наукових положень, отриманих здобувачем, сформульованих висновків та рекомендацій не викликає жодних сумнівів.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційному дослідженні здобувача Івана КОЗІЯ надано наукове обґрунтування основ підвищення рівня кількісних і якісних показників екологічної безпеки викидів промислових підприємств і відповідне йому зниження рівня показників техногенного впливу від дрібнодисперсного пилу у атмосферне повітря на компоненти навколишнього природного середовища на основі виконаних теоретичних досліджень та отриманих експериментальних даних.

За результатами критичного аналізу результатів досліджень здобувача, наведених у рукописі дисертації, визначено такі пункти наукової новизни:

– *вперше* розроблено наукові основи системного підходу до зниження впливу промислових газових викидів, що містять дрібнодисперсні зважені речовини (PM_{2.5}), на компоненти довкілля і людину на основі комплексного застосування оцінювання впливу викидів на довкілля й здоров'я людини, прогнозування забруднення довкілля, розроблення методик вибору природозахисного обладнання, дослідження і використання вискоелективних принципів роботи і відповідних їм конструкцій пилогазоочисного обладнання;

Висвітлено в публікаціях [3, 11, 17, 18]*.

* нумерація публікацій відповідає такій нумерації у авторефераті здобувача.

– *вперше* розроблено математичну модель процесу поширення дрібнодисперсних зважених речовин (PM_{2.5}) у складі промислових газових викидів у приземному шарі атмосфери, яка дозволяє здійснити послідовне оцінювання, прогнозування й зниження показників рівня техногенного негативного навантаження від таких викидів;

Висвітлено в публікаціях [4, 21, 25, 38].

– *вперше* розроблено комплекс із алгоритмів та методик, які дозволяють здійснити вибір вискоелективного пилогазоочисного обладнання зі спільним використанням теорії графів і методу послідовної ієрархічної кластеризації для аналізу вихідних баз даних;

Висвітлено в публікаціях [2, 12, 15, 24, 39].

– *вперше* математично описано й досліджено газогідродинамічний процес

розподілу і механізм утворення крапель у робочій зоні прямотечійного масообмінного апарата з регулярною пульсаційною насадкою для очищення газових викидів від дрібнодисперсних зважених речовин (PM2.5);

Висвітлено в публікаціях [7, 11, 14, 18, 22, 33].

– *вперше* одержано математичну залежність для розрахунку діаметра крапель поглинальної рідини, утворюваних унаслідок дроблення рідинних потоків турбулізуючими елементами насадки в апараті з регулярною пульсаційною насадкою для очищення промислових газових викидів від дрібнодисперсних зважених речовин (PM2.5);

Висвітлено в публікаціях [7, 11, 14, 18, 22, 33].

– *вперше* одержано математичну залежність для розрахунку мінімального діаметра частинок дрібнодисперсних зважених речовин (PM2.5) у промислових газових викидах, що можуть бути захоплені краплями поглинальної рідини в апараті з регулярною пульсаційною насадкою;

Висвітлено в публікаціях [7, 11, 14, 18, 22, 33].

– *набули подальшого розвитку* наукові основи системно-поелементного підходу до організації та дослідження процесу вловлювання дрібнодисперсних зважених речовин (PM2.5) зі складу промислових газових викидів в апаратах із регулярною пульсаційною насадкою;

Висвітлено в публікаціях [7, 11, 14, 18, 22, 33].

– *вдосконалено* комплекс з науково-практичних підходів до створення методик обґрунтованого вибору природоохоронного обладнання на прикладі виконавчих органів технологій захисту атмосферного повітря від дрібнодисперсних зважених речовин (PM2.5) у складі промислових газових викидів;

Висвітлено в публікаціях [2, 12, 15, 24, 39].

– *набули подальшого розвитку* математична модель взаємодії аерозолію (пилогазового потоку) з двофазним текучим середовищем (парорідинною сумішшю) у форсунковому типі апаратів із регулярною пульсаційною насадкою на прикладі дрібнодисперсних зважених речовин (PM2.5) у складі промислових газових викидів.

Висвітлено в публікаціях [7, 11, 14, 18, 22, 33].

Практична цінність отриманих результатів. На основі теоретичних пропозицій щодо захисту атмосферного повітря від техногенного впливу викидів промислових підприємств – потужних джерел пилових викидів у атмосферне повітря міських екосистем здобувачем Іваном КОЗІЄМ отримано такі практичні результати.

1. Розроблене програмне забезпечення для моделі прогнозування розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери: програмна реалізація алгоритму здійснена в середовищі PTC Mathcad Prime 7, візуальна складова – як Web-додаток із використанням HTML-розмітки, CSS-стилів і мови програмування JavaScript, *може бути використаним* в системах моніторингу для оцінювання і контролю негативного техногенного впливу промислових підприємств на компоненти довкілля і людину газопиловими викидами та моніторингу стану екологічної безпеки, у тому числі й для інформування громадськості на різних рівнях.

2. Розроблене програмне розв'язання алгоритму вибору природоохоронного

обладнання, яке враховує різні фізичні особливості роботи обладнання й параметри забруднюючих речовин і *дозволяє* у режимі вільного доступу, у тому числі й онлайн, відповідно до кількості викидів та врахування технологічних умов середовища обирати ефективні технологічні природоохоронні рішення для зменшення техногенного впливу на довкілля з можливістю доповнення баз даних забруднюючих речовин і природоохоронного обладнання.

3. Розроблені конструкції пилогазоочисних апаратів із регулярною пульсаційною насадкою (форсунковий та ежекційний тип) з ефективною пиловловлення для частинок фракції PM2.5 понад 99 % надають *можливості* створення в робочій зоні організованих вихрових зон і мають широкий діапазон стійкої роботи.

Вказані перспективи практичного використання отриманих у дисертації наукових продуктів підкріплюються наступними прикладами:

1. Розроблені практичні рекомендації щодо впровадження у виробництво двох типів високоефективних пилогазоочисних апаратів, які працюють у режимі розвиненої турбулентності для комплексного очищення викидів виробництва на базі ДУ «Ніохім» (акт впровадження від 20.07.2021 р.) та СП «Технополіс» (акт впровадження від 23.09.2022 р.), а також методологію вибору пилогазоочисного обладнання та порядок розрахунку ефективності роботи апаратів із РПН для очищення викидів від дрібнодисперсних зважених речовин на ПрАТ «Інститут «Сумипроєкт» (акт впровадження від 20.09.2022 р.).

2. Державна екологічна інспекція в Сумській області впровадила в роботу рекомендації та математичну модель поширення забруднюючих речовин для прогнозування й розрахунку зони забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів дрібнодисперсних зважених речовин як таку, що забезпечує визначення зони впливу підприємств і завданих збитків навколишньому природному середовищу (акт впровадження від 10.04.2022 р.).

3. Упроваджено в навчальний процес кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету методичні рекомендації щодо системного підходу до оцінювання техногенного навантаження на довкілля від промислових викидів дрібнодисперсних зважених речовин, математичну модель поширення домішок, алгоритм вибору природоохоронного обладнання, зокрема в такі навчальні дисципліни: «Технології захисту навколишнього середовища», «Техноекологія», «Моделювання та прогнозування стану довкілля», «Процеси і апарати природоохоронних технологій» і «Сучасні методи захисту довкілля» при викладанні здобувачам вищої освіти першого (бакалаврського) та третього (освітньо-наукового) рівнів вищої освіти спеціальностей 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та 101 «Екологія» (акт впровадження від 06.09.2022 р.).

Використання наукових і практичних результатів роботи та ступінь їх реалізації. Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ за темою роботи знайшли впровадження та використання у виробничу діяльність ДУ «Ніохім» (м. Суми) (акт впровадження від 20.07.2021 р.) та СП «Технополіс» (м. Суми) (акт впровадження від 23.09.2022 р.), а також ПрАТ «Інститут «Сумипроєкт» (м. Суми) (акт впровадження від 20.09.2022 р.); у діяльність Державної екологічної інспекції в Сумській області (м. Суми) (акт впровадження від 10.04.2022 р.); у навчальний процес кафедри екології та

природозахисних технологій Сумського державного університету (м. Суми) (акт впровадження від 06.09.2022 р.).

Повнота викладення результатів роботи в наукових фахових виданнях. Викладений у публікаціях 2012–2023 рр. матеріал у повній мірі відображає основні результати, отримані особисто здобувачем Іваном КОЗІЄМ, та обґрунтовує усі наукові положення дисертаційного дослідження, оскільки здобувачем опубліковано 44 друковані та електронні наукові праці, а саме 1 монографія у співавторстві (2014 р., обсягом 64 сторінки або 2,7 авторського аркуша, авторський внесок – 1,0 авторський аркуш), 1 розділ у колективній монографії (2022 р., обсягом 12 сторінок або 0,5 авторського аркуша, авторський внесок – 0,25 авторського аркуша); 23 статті, з яких 16 статей – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України (2012–2022 рр., у тому числі й 3 статей – у виданнях категорії «Б» за спеціальністю 131, 132, 133, 7 – за спеціальністю 183 (Перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії відповідно до Порядку формування Переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказом МОН України від 15 січня 2018 року № 32, зареєстрованого в Мін'юсті України 06 лютого 2018 року за № 148/21600), 1 стаття – одноосібно, 4 статті – іноземною мовою), 6 статей – у виданнях входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science (2016–2022 рр., усі іноземною мовою, усі у співавторстві); 17 наукових праць з апробації матеріалів дисертаційного дослідження (2013–2022 рр., 4 – іноземною мовою, 6 – одноосібно), а також додатково – 1 підручник (2022 р., обсягом 390 сторінок або 16,25 авторського аркуша, авторський внесок – 8,0 авторського аркуша) та 1 навчальний посібник (2012 р., обсягом 154 сторінок або 6,4 авторського аркуша, авторський внесок – 2,0 авторського аркуша).

Усі публікації здобувача за темою дисертації викладено у відкритий доступ у цифровий репозитарій Сумського державного університету за покликанням:

<https://essuir.sumdu.edu.ua/simple-search?query=козії>.

У профілях здобувача у системах GoogleScholar, ORCID та Scopus проіндексовані усі позиції, заявлені у списку опублікованих праць за темою дисертації, а саме:

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=OQKVN-YAAAAJ&hl=ru>,

<https://orcid.org/0000-0003-0402-6876>,

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191162873>.

Апробація результатів наукового дослідження здобувача Івана КОЗІЯ здійснювалась шляхом доповідей на 15 науково-технічних і науково-практичних конференціях і семінарах, з яких 2 закордонних (Ізраїль, Словенія), 7 заходів – міжнародного рівня та 8 заходів – всеукраїнського рівня.

Дисертаційне дослідження та його результати обговорені та схвалені на засіданні фахового семінару апробаційної ради за спеціальностями 161 «Хімічні технології та інженерія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол № 3 від 02.03.2023 р.) і рекомендовано до захисту на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук (протокол засідання спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 від 22.03.2023 р. за № 03/23).

Таким чином, матеріали дисертації здобувача Івана КОЗІЯ за науковим

рівнем і повнотою викладення у друкованих фахових виданнях повністю відповідають чинним вимогам МОН України та пройшли апробацію на конференціях міжнародного рівня у необхідному обсязі (Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197).

Оцінка змісту дисертаційної роботи та її оформлення. дисертаційне дослідження здобувача Івана КОЗІЯ є завершеною науковою роботою, рукопис якої викладено на 343 сторінках друкованого тексту (14,3 авторського аркушу, 486 тис. друкованих знаків), з яких 235 сторінок основного тексту (9,8 авторського аркушу). Рукопис дисертації складається з титульного аркушу, анотації на 30 сторінках, змісту на 4 сторінках, переліку умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів на 2 сторінках, вступу на 10 сторінках, 5 розділів, висновків на 4 сторінках, списку з 287 використаних джерел літератури на 47 сторінках та 9 додатків на 24 сторінках, містить 70 рисунків та 17 таблиць.

Автореферат дисертації викладений на 45 сторінках (14,3 авторського аркушу, 93,0 тис. друкованих знаків), його структура відповідає усім вимогам, містить 22 рисунки та 4 таблиці.

Оформлення рукопису і автореферату дисертації здобувача Івана КОЗІЯ за мовою та стилем викладання, а також за своєю структурою, повністю відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим Наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р.

Ідентичність змісту автореферату основним положенням дисертації та відповідність паспорту спеціальності. Автореферат дисертації здобувача Івана КОЗІЯ є ідентичним за змістом з основними положеннями рукопису його дисертаційного дослідження та на достатньому рівні повноти висвітлює отримані здобувачем особисто у ньому основні нові наукові результати. Тема та сутність здійснених здобувачем досліджень відповідають паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека відповідно до Постанови Президії ВАК України № 33-07/7 від 04.07.2001 р., «Бюлетень Вищої атестаційної комісії України», № 3, 2003 р., зокрема формулі спеціальності за пунктами 1–3 (повна відповідність) та пунктам 4 і 5 (часткова відповідність), а саме:

1. Обґрунтування теоретичних основ оцінок техногенного ризику, розробка та пошук за їх допомогою оптимальних форм управління екологічною безпекою – у частині управління рівнем екологічної безпеки;

2. Розроблення наукових методів дослідження комплексної оцінки та прогнозування впливу техногенного забруднення на навколишнє середовище й людину – у частині надання комплексної оцінки впливу пилового забруднення атмосферного повітря на компоненти довкілля;

3. Удосконалення наявних, створення нових, екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля. Екологічний аудит, екологічний менеджмент – у частині розробки засад вдосконалення принципів роботи та конструкції виконавчих пристроїв технологій захисту навколишнього середовища;

4. Вивчення екологічної обстановки навколо атомних, теплових електростанцій, гірничовидобувних підприємств, інших небезпечних об'єктів; обґрунтування й здійснення заходів для поліпшення цієї обстановки – у частині

дослідження екологічної обстановки навколо промислових підприємств як небезпечних об'єктів – джерел викидів пилу в повітря;

5. Розроблення систем екологічного моніторингу й техногенно-екологічної безпеки регіонів, окремих екосистем. Заходи стабілізації та поліпшення стану довкілля – у частині створення програмних продуктів, придатних для використання у системах моніторингу для оцінювання і контролю техногенного впливу промислових підприємств на довкілля та інформування громадськості нарізних рівнях.

У **вступі** дисертації здобувача Івана КОЗІЯ, що викладений на 10 стор., наведено обґрунтування актуальності теми дисертаційного дослідження, вказано її зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Наведено формулювання мети, завдання та задач дослідження, викладено наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів. Сформульовано об'єкт і предмет дослідження, перелічено методи наукового дослідження, викладено інформацію про особистий внесок здобувача, про апробацію та публікації отриманих нових наукових результатів дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** дисертації здобувача Івана КОЗІЯ «Техногенне навантаження на навколишнє середовище від надходження в атмосферне повітря викидів, що містять дрібнодисперсні зважені речовини», який займає 71 стор., містить 20 рисунків, 7 таблиць та 10 формул, викладено результати аналізу інформаційних джерел з наукових досліджень визнаних закордонних і вітчизняних науковців та фахівців щодо стану вивчення аспектів техногенного негативного впливу на компоненти довкілля та людину газопиловими викидами у атмосферне повітря, які утворюються при виробничій діяльності промислових підприємств різних галузей економіки України та містять дрібнодисперсні зважені речовини. Наведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету та перелік завдань для її досягнення.

Основні результати дослідження, представленого у цьому розділі рукопису дисертації, опубліковані в наукових працях: [5, 8, 12, 13, 16, 17, 24]*.

* нумерація публікацій відповідає такій нумерації у авторефераті здобувача.

У **другому розділі** дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ «Методи й методика системного аналізу об'єкту дослідження», який займає 28 стор., містить 5 рисунків, 3 таблиці та 17 формул, надані результати щодо побудови загальної схеми здійснення системного аналізу з метою вирішення поставлених задач дослідження, а саме: надано визначення системі «викиди виробництва – природозахисне обладнання – зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище», це дозволяє вирішити задачу зниження техногенного навантаження на навколишнє природне середовище від промислових виробництв, газові викиди яких у атмосферу містять дрібнодисперсні зважені речовини. При цьому як методика, так методи здійснення системного аналізу мають орієнтацію на використання результатів математичного моделювання, здійснення оцінювання екологічного ризику з метою покращення показників ефективності процесів ліквідації та локалізації аварійних ситуацій. У розділі наведено результати предметного аналізу об'єкту дослідження та дана всебічна фізико-хімічна характеристика досліджуваному дисперсному середовищу аерозольних газових промислових викидів – дрібнодисперсному пилу з високими показниками адгезії у якості техногенних чинників формування

певного значення показників рівня екологічної безпеки підприємства. Також виконано обґрунтування запропонованої методики аналізу і спрощення інформації, потрібних для розробки алгоритмів вибору природоохоронного обладнання і здійснення параметризованої оптимізації. Як результат цього виявлено, що така методика дослідження алгоритму вибору природоохоронного обладнання має ґрунтуватися на результатах дослідження синтезу баз даних параметрів забруднюючих речовин, характеристик технологічних умов здійснення процесу і параметрів газоочисного обладнання. На основі цього було розроблено схему та конструкцію лабораторного стенду для вивчення гідродинамічних та пиловловлюючих характеристик апарату з регулярною пульсаційною насадкою та описано методи дослідження гідродинамічних процесів, пиловловлення та відбору проб на межі санітарно-захисної зони.

Основні результати дослідження, представленого у цьому розділі рукопису дисертації, опубліковані в наукових працях: [130, 344, 352, 353].

Третій розділ роботи здобувача Івана КОЗІЯ «Моделювання розсіювання дрібнодисперсних зважених речовин в приземному шарі атмосфери», який займає 37 стор., містить 17 рисунків, 2 таблиці та 25 формул, присвячено визначенню основних переваг та недоліків відомих математичних моделей з чисельним алгоритмом та програмним забезпеченням, що дозволяють здійснювати прогнозування результатів процесу поширення поллютантів в атмосфері. При цьому виявлено, що до набору вихідних параметрів для побудови надійних математичних моделей мають неодмінно входити: температура повітря, швидкість і напрямок вітру, параметри турбулентності повітря, параметри викидів забруднюючих речовин і джерел таких викидів. При виконанні моделювання було одержано спрощене аналітичне рішення та побудовано алгоритм численного моделювання процесу поширення дрібнодисперсних твердих та/або рідинних поллютантів у складі аерозольних газових промислових викидів у повітряному шарі. Слід зазначити, що вказаний алгоритм чисельного моделювання розроблено методом координатного розщеплення рівняння розподілу дрібнодисперсних домішок у турбулентному текучому середовищі з подальшою нормуванням та параметризацією умов, при цьому отримання стабільного розрахункового алгоритму розробленої моделі для розподілу дрібнодисперсних зважених частинок досягається за рахунок знаходження підінтегральних функцій в алгоритмі розрахунку. Таким чином, отримано інтегральне рівняння для розподілу забруднюючих речовин, яке може знайти практичне застосування при прогнозуванні та моделюванні дифузії домішок з джерел викидів. У розділі побудовано математичну модель поширення дрібнодисперсних зважених речовин у атмосферному повітрі за бази програмного середовища PTC Mathcad Prime 7, при цьому за результатами аналізу візуалізацій такого розрахунку встановлено, що максимальна концентрація поллютантів у компонентах довкілля проявляється на відстані 4 км від джерела забруднення. На основі цього одержано розподіл концентрацій домішок для у широких діапазонах значень турбулентності атмосферного повітря та швидкості вітру, а перевірка адекватності математичної моделі, здійснювана на базі засобів графічної візуалізації результатів розрахунків, дозволяє стверджувати про високу ефективність прийнятої моделі з точки зору чинного законодавства з огляду на перелік врахованих вихідних параметрів джерел викидів та умов розподілу домішок. Як результат виконаного

моделювання було розроблено Web-додаток для надання оцінки дальності поширення дрібнодисперсних забруднюючих речовин у промислових газових викидах від джерела таких викидів з використанням HTML-розмітки, CSS-стилів і мови програмування JavaScript. Вказаний Web-додаток є спрощеною програмою і тому може використовуватися для швидкої оцінки та як складова відповідних систем моніторингу.

Основні результати дослідження, представленого у цьому розділі рукопису дисертації, опубліковані в наукових працях: [4, 21, 25, 38].

У четвертому розділі рукопису дисертації здобувача Івана КОЗІЯ «Системний підхід до вибору пилогазоочисного обладнання», який займає 29 стор., містить 18 рисунків, 3 таблиці та 12 формул, містяться результати аналізу структури і вмісту баз даних параметрів поллютантів, що можуть виступити як дисперсна фаза у промислових газових аерозольних викидах, умов здійснення та параметрів плинного процесу очищення таких викидів та параметрів та конструктивних особливостей пилогазоочисного обладнання, що дозволило обрати, обґрунтувати і реалізувати напрями з вибору природозахисного обладнання на базі використання математично та програмно підтриманого системного підходу. У зв'язку з цим у розділі розроблено методику вибору пилогазоочисного обладнання, разом з тим на основі результатів застосування теорії графів отримано швидке алгоритмічне пояснення орієнтованого оптимального вибору певних типів очисного обладнання, що у комплексі дозволяє врахувати різні фізичні особливості роботи обладнання та обирати найбільш ефективні технологічні природоохоронні рішення згідно до кількості викидів та врахування умов середовища. У розділі також розроблено та реалізовано методику вибору типу і конструкції природозахисного обладнання для зниження викидів забруднюючих речовин теплоенергетики та хімічної галузі на основі програмного середовища сервісу Google-Таблиці, що спрощує використання такої методики і робить її доступною широкому числу користувачів у форматі *.xlsx або режимі онлайн. Вказаний програмний алгоритм базується на методі послідовної ієрархічної кластеризації та зіставленні параметрів трьох баз даних: характеристик поллютантів, технологічних умов навколишнього природного середовища та власне параметрів пилогазоочисного обладнання, він характеризується зручністю та швидкістю роботи, можливістю доповнення баз даних поллютантів та технологічного обладнання та можливістю врахування відповідності вимогам регулювальних нормативних актів.

Основні результати дослідження, представленого у цьому розділі рукопису дисертації, опубліковані в наукових працях: [2, 12, 15, 24, 39].

У п'ятому розділі дисертаційного дослідження здобувача Івана КОЗІЯ «Теоретичні та експериментальні дослідження вискоєфективного обладнання для вловлення дрібнодисперсних зважених речовин», завершальному у її структурі, який займає 56 стор., містить 13 рисунків, 2 таблиці та 112 формул, висвітлені результати обґрунтування можливості ефективного використання апаратів з регулярною пульсаційною насадкою для комплексного очищення пилогазових викидів промислових виробництв від дрібнодисперсних зважених речовин з мінімальним негативним впливом на навколишнє природне середовище. Для чого виконані лабораторні дослідження, на основі аналізу яких запропоновано конструкції апаратів з регулярною пульсаційною насадкою, котрі

одночасно можуть створювати у робочій зоні організовані вихрові зони і характеризуватися широким діапазоном режимів стійкої роботи. При цьому дослідження гідродинамічних процесів показали, що режим прямого потоку є робочим режимом для форсункового і ежекційного типу обраного типу апарату. Вихровий режим руху потоку аерозольного текучого середовища в таких апаратах та його пульсаційний характер суттєво сприяє інтенсифікації процесів укрупнення та осадження частинок поллютанта як дисперсної фази. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень двох варіантів конструкції обраних для дослідження апаратів та з урахуванням ідентичності параметрів їх гідродинамічних режимів роботи у залежності від швидкості очищуваного текучого середовища, значення питомого зрошення або вихідного рівня зрошувальної рідини, а також інших конструктивних параметрів, отримано рівняння, що описує гідравлічний опір для ежекційного і форсункового апарату з регулярною пульсаційною насадкою. Встановлено, що максимальна ефективність пиловловлення дрібнодисперсного пилу в досліджуваному ежекційному апараті становить 99,6 %, а у форсунковому апараті становить 99,4 %, а також визначено режимні умови досягнення такої ефективності. Крім того, у розділі описано математичні моделі взаємодії пилогазового потоку з парорідинною сумішшю, механізму утворення і руху вихрового потоку при описанні різних фізичних принципів роботи такого природоохоронного обладнання. Виявлено, що у запропонованій інноваційній конструкції газоочисного апарату укрупнення дрібнодисперсних зважених поллютантів у першій зоні відбувається за рахунок механізму конденсаційного зростання, а також турбулентної та броунівської коагуляції. При цьому розрахунковим шляхом отримані рівняння для визначення радіусу частинки в процесі конденсації парогазорідинної системи, що дозволяє визначити подальшу можливість уловлювання частинок за рахунок інерційного або турбулентно-дифузійного механізму. Крім того, у розділі вперше надано математичне описання процесу розподілу рівноважних крапель у прямооточному масообмінному апараті з регулярною рухомою насадкою і на основі цього одержано рівняння для розрахунку діаметра крапель поглинаючої рідини внаслідок дроблення рідинних потоків турбулізуючими елементами насадки у верхній частині апарату, за допомогою рішення якого виявлено особливість – розвинену поверхню контакту фаз за рахунок великої кількості елементів насадки, що генерують міжфазну поверхню. Також розглянуто механізм утворення краплинної структури на насадковому елементі в момент утворення крапель. Виконано дослідження механізмів осадження дрібнодисперсних зважених речовин, здатних захоплюватися краплинами рідини в обраному типі газоочисного апарату, у залежності від параметрів дисперсного складу поллютанта та обґрунтовано вибір дифузійного та інерційного механізмів осадження частинок, а також визначити мінімальний ефективний діаметр зважених частинок, які можуть бути захоплені краплями рідини в такому типі апарату, що зумовлює можливість роботи з широкою номенклатурою пилогазових промислових викидів, які містять дрібнодисперсні зважені речовини.

Основні результати дослідження, представленого у цьому розділі рукопису дисертації, опубліковані в наукових працях: [7, 11, 14, 18, 22, 33].

Висновки за дисертаційною роботою здобувача Івана КОЗІЯ на високому рівні лаконічно, послідовно і повно відображають усі основні етапи виконання

дисертаційного дослідження згідно до поставленої мети та поставлених задач дослідження, викладено усі цінні отримані нові наукові та практичні результати, що відповідають рівню дисертації на здобуття наукового ступеня «доктор технічних наук».

Список використаних джерел містить 287 найменувань джерел інформації, на які наявні посилання у роботі, що відповідають вимогам сучасності виконаних досліджень за темою дисертації. Джерел, старших за 5 років, виявлено відносно небагато, джерел, що відносяться до країн-агресорів, також обмаль і їх використання є обґрунтованим. У списку джерел наявні посилання на усі основні власні публікації.

Отже, дисертаційна робота здобувача Івана КОЗІЯ є закінченою науковою працею з розв'язання проблемних нагальних природоохоронних задач стосовно побудови наукових основ підвищення рівня показників екологічної безпеки викидів промислових підприємств і зумовлене цим зниження рівня показників техногенного впливу від дрібнодисперсного пилу у атмосферне повітря на компоненти довкілля. Оформлення дисертації відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» та вимогам АК України згідно з Бюлетенем ВАК України за № 2 за 2000 р. та № 9–10 за 2011 р.

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату.

За змістом і викладеним у рукописі та авторефераті здобувача Івана КОЗІЯ матеріалом дисертаційного дослідження можна зробити такі зауваження.

1. У підрозділі 1.5 «Класифікація аерозолів», пункті «Класифікація аерозолів за дисперсністю» рукопису дисертації на стор. 76 спочатку вказано «В залежності від розміру частинок аерозолі можна виділити наступні види: дим ($0,1 > d_v > 0,001$ мкм)», потім «Іноді дим може містити крупні частинки не повністю спалених речовин, золу, оксиди металів, смоли, тому розмір димових частинок коливається у широкому діапазоні – від субмікронних (0,01 мкм) до мікроскопічних (100 мкм)», а далі у табл. 1.4. Розміри деяких частинок аерозолів на стор. 77 «Топковий дим – 0,1–10,0 мкм». Наведені діапазони розмірів частинок диму різняться між собою на декілька порядків.

2. У підрозділі 1.5 «Класифікація аерозолів», пункті «Уточнення класифікацій» рукопису дисертації на стор. 81 наведено запропоновану здобувачем класифікацію аерозолів – за фізико-хімічними властивостями, що обґрунтована викладеними вище міркуваннями та, безумовно, є новим науковим результатом. Проте, ні у Висновках по роботі (висновки по Розділу 1 як такі відсутні), ні у переліку пунктів наукової новизни цей результат не вказано, що дещо штучно знижує цінність отриманих при аналізі літературних джерел результатів.

3. У підрозділі 2.3 «Об'єкт дослідження» рукопису дисертації на стор. 128 міститься Рисунок 2.3 – Розподіл маси пилу двоокису титану за розмірами, який отримано «з метою апроксимації результатів розподілу частинок пилу за дисперсністю побудовано графіки розподілу в Microsoft Excel». На ньому видно, що вид емпіричної інтегральної кривої розподілу – експонента. Проте здобувач застосовує для апроксимації поліном 2-го ступеня, графік якого у діапазоні значень параметра d_v від 0 до 0,15 мкм змінює алгебраїчний знак, а у діапазоні від 0,85 до 1,1 мкм дає значення, більші за 100 %.

4. У підрозділі 3.2.5 «Перевірка адекватності програмних результатів розрахунку моделі» рукопису дисертації на стор. 174 наявний Рисунок 3.12 – Розміщення джерела забруднення з початковою концентрацією викиду забруднюючих речовин n і точками відбору проб x . Однак ні на самому рисунку, ні на його легенді, ні у його назві та підписі, ні у тексті підрозділу 3.2.5 не міститься роза вітрів чи інформація про напрям і силу вітру, врахована при здійсненні розрахунку у спеціалізованій програмі «ЕОЛ 2000» (методика ОНД-86).

5. У Розділі 4 «Системний підхід до вибору пилогазоочисного обладнання» та Розділі 5 «Теоретичні та експериментальні дослідження вискоефективного обладнання для вловлення дрібнодисперсних зважених речовин» рукопису дисертації послідовно викладено наукові основи вибору, розрахункового і експериментального дослідження та вдосконалення принципів роботи і конструкції виконавчих пристроїв відповідних технологій захисту компонентів довкілля. У Вступі рукопису дисертації та автореферату дисертації, текстах документів про впровадження, прикладених у Додатках Д, Е та Є рукопису дисертації вказано, що такі результати знайшли впровадження. Втім, в жодному з перерахованих елементів документації до атестаційної справи не містяться фотографії та/або елементи проектної документації обладнання, що спроектовано і вдосконалено із застосуванням доробку здобувача.

6. У підрозділі 2.3 «Об'єкт дослідження» рукопису дисертації на стор. 127 вказано «Тому, з метою підвищення ефективності очистки повітря, а також попередження втрат продукту та сировини на ПАТ «Сумихімпром», замість еталонного пилу проводимо дослідження на реальному пилу хімічного виробництва» та наявний Рисунок 2.2 – Загальний вигляд пилу двоокису титану (збільшення X3000). У підрозділі 3.2.5 «Перевірка адекватності програмних результатів розрахунку моделі» рукопису дисертації на стор. 177 вказано «Адекватність результатів математичної моделі перевіряли на реальному об'єкті хімічної промисловості – ПАТ «СУМИХІМПРОМ» та наявний Рисунок 3.14 – Загальний вигляд пилу (збільшення X6000). Розміри частинок пилу на цих двох рисунках відрізняються на кілька порядків. Проте, як врахована така різниця у дисперсності пилу при здійсненні досліджень щодо обґрунтування вибору об'єкту дисертаційного дослідження та перевірки адекватності програмних результатів для одного і того ж промислового об'єкту не вказано.

7. У переліку публікацій за темою дисертації та у додатках рукопису дисертації відсутні документи про захист права інтелектуальної власності на розроблені здобувачем конструктивні рішення для виконавчих пристроїв технологій захисту компонентів довкілля.

8. Текст рукопису дисертації та автореферату містить деяку кількість термінологічних вузькопрофільних абревіатур, що дещо ускладнює сприйняття інформації про результати дисертаційного дослідження як єдиного взаємопов'язаного кластеру інформації. За текстом рукопису і автореферату дисертації присутні описки, неточності перекладу.

Наведені опонентом зауваження жодним чином не впливають на рівень обґрунтованості отриманих нових наукових положень і висновків дисертації, не знижують рівень наукової новизни та практичного значення отриманих результатів. Зауваження носять більш дискусійний характер, спрямовані на покращення сприйняття пропозицій і отриманих автором результатів у вказаному

напрямі подальших досліджень і спричиняють негативного впливу на загальне цілком позитивне враження від роботи.

Загальний висновок. У цілому дисертаційне дослідження КОЗІЯ Івана Сергійовича «**Наукові основи системного підходу до зниження техногенного навантаження від промислових викидів на довкілля**» є завершеною науковою роботою, основні отримані нові науково-практичні положення якої не викликають жодних заперечень і у всіх аспектах не порушують принципів академічної доброчесності. Тема та матеріали дисертації здобувача у повній мірі відповідають паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека за пунктами 1, 2 і 3 (повністю), 4 і 5 (частково). Основні положення дисертації відображені в авторефераті у повному обсязі.

За результатами здійсненого ретельного критичного неупередженого аналізу матеріалів кваліфікаційної наукової роботи здобувача Івана КОЗІЯ, опонентом виявлено, що дисертаційне дослідження виконано з дотриманням усіх вимог до дисертацій на здобуття наукового ступеня «доктор технічних наук» у відповідності з пунктами 9, 10, 12, 13 і 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. за № 567 зі змінами згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015 р. і № 1159 від 30.12.2015 р., і присвячено вирішенню актуальної у сфері екологічної безпеки науково-практичної проблеми розробки наукових основ захисту атмосферного повітря від техногенного впливу пилових викидів промислових підприємств.

На основі викладеного вище зроблено однозначний висновок, що здобувач, КОЗІЙ Іван Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

«27» квітня 2023 р.

Офіційний опонент,

професор кафедри
прикладної механіки
та технологій захисту
навколишнього середовища
факультету
техногенно-екологічної безпеки
Національного університету цивільного
захисту України ДСНС України,
доктор технічних наук, доцент



Олександр КОНДРАТЕНКО

Підпис завіряю

Вчений секретар
Національного університету
цивільного захисту України
ДСНС України,
кандидат психологічних наук,
старший науковий співробітник



Андрій ПОБІДАШ