

5. Висновки

В представленій роботі надано математичний опис процесу нестационарного фільтрування з утворенням осаду через циліндричну гофровану фільтрувальну перегородку і розглянуто його особливості. Приведено результати дослідження впливу часу фільтрування на перепад тиску, зміни гідравлічного опору та ефективності процесу пиловловлювання частинок пилу патронними фільтрами. Показано, що суттєву втрату тиску з часом при фільтруванні з утворенням осаду на гофрованій перегородці необхідно враховувати при виборі режимних параметрів патронного фільтру. На основі експериментальних даних процесу очищення повітря для газотурбінної установки, наданих ТОВ «Комплексні повітроочисні пристрої» в середовищі Hugin Expert розроблена байєсівська мережа, що дає змогу оцінити стан фільтруючого елемента за кон-

кретних умов функціонування та ефективність всього процесу в цілому. Результати моделювання та оцінки ефективності процесу очищення атмосферного повітря виконано на замовлення ТОВ «Комплексні повітроочисні пристрої» з метою подальшого впровадження на газопровідних станціях.

Література

1. Лебедев А.С. Общие технические требования к системам фильтрации воздуха для энергетических газотурбинных установок / А.С. Лебедев, М.Ю. Львов, В.Е. Михайлов; М., ОАО «РАО ЕЭС», 2006.
2. Бугаева Л.Н., Полякова Е.Н. Оценка эффективности процесса очистки воздуха для газотурбинных установок / Сб. трудов Международ. науч. конф. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-23, Саратов, Россия, 2010.

УДК 502/504

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАЛОСТІ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ДАНИХ 2008 РОКУ

І.М. Джигирей

Кандидат технічних наук, старший викладач*
Контактний тел.: (044) 408-82-12
E-mail: dzhygyrey@gmail.com

Г.О. Статюха

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою*
Контактний тел.: (044) 408-82-12
E-mail: gen.statyukha@mail.ru

*Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

Модифіковано український регіональний індекс екологічної сталості. Наведено результати оцінювання екологічної сталості регіонів України на основі даних 2008 року

Ключові слова: сталий розвиток, екологічна сталість, оцінювання, індикатор, індекс

Модифицирован украинский региональный индекс экологической устойчивости. Приведены результаты оценивания экологической устойчивости регионов Украины на основе данных 2008 года

Ключевые слова: устойчивое развитие, экологическая устойчивость, оценивание, индикатор, индекс

Modified Ukrainian Regional Environmental Sustainability Index is proposed. The results of environmental sustainability assessment of Ukrainian regions based on 2008 data are given

Key words: sustainable development, environmental sustainability, assessment, indicator, index

1. Вступ

Системи індикаторів сталого розвитку активно розробляються та впроваджуються у світі [1], зокрема

і в Україні, наприклад метрики [2–5], на різних рівнях, у різних сферах суспільного життя. У контексті сталого розвитку оцінювання на основі індикаторів дає змогу зробити висновки щодо стану і тенденцій

розвитку суспільства і довкілля [6]. Різноманітні види статистик, наборів даних, показників слугують основою таких оцінювань. Агреговані індикатори сталого розвитку або індекси дають змогу здійснити ефективне згоргання великих обсягів даних з метою оцінювання, прогнозування, прийняття рішень.

Оцінка екологічної сталості території відображає здатність Людини захищати навколишнє природне середовище. Одні екологічні проблеми є наслідком швидкого розвитку та індустріалізації (виснаження невідновлюваних ресурсів, забруднення, деградація екосистем), інші – короткострокового мислення, спричиненого бідністю (вирубування лісів, брак вкладень у заходи попередження забруднення довкілля та заходи охорони навколишнього природного середовища (НПС)) [7]. Екологічна сталість у цьому дослідженні є оцінкою «екологічності» поведження з природними ресурсами і відходами життєдіяльності Людини, стану довкілля і антропогенного навантаження на нього, ефективності механізмів захисту НПС нині й надалі на регіональному (суб-національному) рівні.

2. Український регіональний індекс екологічної сталості

Український регіональний індекс екологічної сталості (URESI 2008, Ukrainian Regional Environmental Sustainability Index) розроблено для оцінювання екологічної сталості регіонів України. Структура і наповненість індексу базується на попередній розробці авторів, індексі URESI⁴⁴ [8], і концептуальних наробках під керівництвом академіка М.З. Згуровського у рамках науково-технічної програми НТУУ «КПІ» «Сталий розвиток» [5], а саме на використанні схеми формування систем індикаторів сталого розвитку «рушійні сили – тиск – стан – вплив – реакція» [9] з врахуванням особливостей оцінювання екологічної сталості [7] та національних пріоритетів в екологічній політиці.

Особливістю модифікування структури URESI є привнесення деяких елементів моделі екологічної уразливості «небезпеки – опірність – пошкодження» оцінювання територій [10]. В цій моделі уразливість відображено у трьох аспектах, перший з яких – це уразливість довкілля, другий – стійкість до зовнішніх впливів, а третій – ступінь деградації. Перший аспект відображає ймовірність настання негативних наслідків, а два інших – можливості довкілля витримати вплив небезпек. У структурі URESI використано показники небезпек, пов'язані з частотою та інтенсивністю небезпечних подій, і показники пошкодження, пов'язані з уразливістю території, набутою через втрату екологічної цілісності або високий ступінь деградованості земель (чим більше деградовані екосистеми території, тим більш уразливою вона ймовірно буде до майбутніх небезпек). Зокрема розроблено компонент «Небезпеки», який містить показники радіаційної, хімічної та екологічної небезпек. Майже дві третини показників цього компоненту характеризують радіаційну небезпеку та радіологічний стан території оцінюваних регіонів. Виділення компоненту «Небезпеки» обумовлено у першу чергу наслідками Чорнобильської катастрофи, економічними, соціальними,

медико-демографічними, еколого-біологічними [11], які спричинили в Україні ситуацію, що наближається до рівня національної екологічної катастрофи.

Модифікований URESI охоплює чотири компоненти: «Екологічні системи», «Екологічне навантаження», «Небезпеки» і «Регіональне екологічне керування». Компоненти містять 13 індикаторів, коди яких наведено у дужках: «Атмосферне повітря» (AIR), «Тваринний і рослинний світ» (BIO), «Земельні ресурси» (LND), «Водні ресурси» (WTR), «Викиди в атмосферне повітря» (EMS), «Екологічний тиск і керування природними ресурсами» (ECO), «Поведження з відходами» (WST), «Водне навантаження» (WTS), «Радіологічний стан території та радіаційна небезпека» (RAD), «Хімічна і екологічна небезпеки» (ECH), «Екологічні проекти» (COL), «Викиди парникових газів» (GHG) та «Екологічний тиск перевезення відходів» (WSP) (рис. 1). Розрахунок значень індикаторів екологічної сталості здійснюється на основі 78 показників.

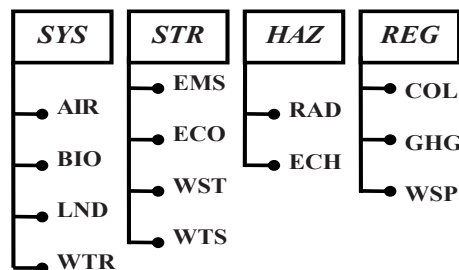


Рис. 1. Індикатори екологічної сталості в моделі URESI 2008: SYS – компонент «Екологічні системи»; STR – компонент «Екологічне навантаження»; HAZ – компонент «Небезпеки»; REG – компонент «Регіональне екологічне керування»

Індикатор «Атмосферне повітря» компоненту «Екологічні системи» містить такі показники як концентрація окису вуглецю, пилу, формальдегіду та двоокису азоту в атмосферному повітрі міст, а також показники, які відображають частку міст, де середньорічний вміст цих забруднювальних речовин перевищує відповідні середньодобові гранично допустимі концентрації (ГДК). Три з наведених забруднювальних речовин, а саме окис вуглецю (клас безпеки 4), пил (клас безпеки 3) та двоокис азоту (клас безпеки 2), відносять до найпоширеніших. Виключення з розгляду двоокису сірки, однієї з найпоширеніших забруднювальних речовин, пояснюється її відносно невисокими середньорічними концентраціями (менше 1 ГДК середньодобової) в атмосферному повітрі міст за даними 2008 р. [12]. Середньорічний вміст формальдегіду (клас безпеки 2) в атмосферному повітрі міст перевищував 1 ГДК у більшості регіонів України, що викликало необхідність розроблення відповідних показників для індикатору «Атмосферне повітря». Оцінювання інших забруднювальних речовин з високим вмістом в атмосферному повітрі міст України, наприклад фенолу і фтористого водню, виявилось неможливим з огляду на наявність менше 50% необхідних даних по регіонах. Індикатор «Атмосферне повітря» отримують як зважене середнє нормалізованих значень показників

$$I_{AIR} = \frac{1}{3} \cdot \left[0,37 \cdot (I_{COX} + I_{EX1}) + 0,27 \cdot (I_{TCP} + I_{EX2}) + 0,18 \cdot (I_{FRM} + I_{EX3} + I_{NO2} + I_{EX4}) + I_{API} \right] \quad (1)$$

де I_{COX} , I_{TCP} , I_{FRM} , I_{NO2} – нормалізовані значення показників середньорічного вмісту окису вуглецю, пилу, формальдегіду, двоокису азоту в атмосферному повітрі міст, усереднені по містах регіону, в кратності ГДК; I_{EX1} , I_{EX2} , I_{EX3} , I_{EX4} – нормалізовані значення показників перевищення вмісту окису вуглецю, пилу, формальдегіду, двоокису азоту в атмосферному повітрі міст, ум. од.; I_{API} – нормалізоване значення показника сумарного забруднення атмосферного повітря, отримане усередненням значень комплексного індексу забруднення атмосферного повітря по містах регіону, в яких проводяться спостереження. Значення показників I_{EX1} , I_{EX2} , I_{EX3} , I_{EX4} отримують як зважене середнє часток міст, де середньорічний вміст відповідних забруднювальних речовин перевищував 1 ГДК, 5 ГДК та 10 ГДК. Вагові коефіцієнти для розрахунку значень показників I_{EX1} , I_{EX2} , I_{EX3} , I_{EX4} відповідають кратності перевищення ГДК і становлять 0,063, 0,312 і 0,625, відповідно, а значень складових індикатору у формулі (1) – класам небезпеки забруднювальних речовин.

Індикатор «Тваринний і рослинний світ» компоненту «Екологічні системи» відображає намагання регіону в сфері збереження біорізноманіття і зменшення темпів його втрати. Індикатор є зваженим середнім нормалізованих значень показників I_{PZF} «Об'єкти природо-заповідного фонду (ПЗФ)», I_{PZC} «Зміна площі об'єктів ПЗФ», I_{PFL} «Види флори під загрозою», I_{PFA} «Види фауни під загрозою», I_{FLR} «Відтворення рослинного світу» та I_{FAR} «Відтворення тваринного світу»

$$I_{BIO} = \frac{1}{4} \cdot (I_{PZF} + I_{PZC}) + \frac{1}{8} \cdot (I_{PFA} + I_{PFL} + I_{FLR} + I_{FAR}) \quad (2)$$

Значення показника I_{PZF} розраховують як відсоток території регіону зайнятої під об'єкти ПЗФ. Значення показника I_{PZC} отримують як кутовий коефіцієнт лінії регресії побудованої за п'ятьма точками – значеннями частки фактичної площі ПЗФ у площі регіону в 2004–2008 рр. Значення показників I_{PFA} та I_{PFL} є часткою видів флори і фауни на території регіону, які занесені до Червоної книги України, додатків Конвенції про охорону дикої флори і фауни і природних середовищ існування в Європі, додатків Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення, додатків Конвенції про збереження мігруючих видів диких тварин, Угоди про збереження афро-євразійських мігруючих водноболотних птахів та Угоди про збереження кажанів в Європі, у загальній чисельності видів флори і фауни на території регіону, відповідно. Значення показників I_{FLR} та I_{FAR} є часткою видів рослин і тварин, відтворених на територіях та об'єктах ПЗФ регіону, серед видів, занесених до Червоної книги України.

Індикатор «Земельні ресурси» компоненту «Екологічні системи» характеризує стан життєвого простору регіону, зокрема наслідки сільськогосподарського освоєння. Розораність українських чорноземів сьогодні найвища у світі – біля 78%, а в окремих регіонах сягає 90% [13]. Це призводить до змін мікроклімату, рівня залягання ґрунтових вод, активізації процесів аридизації і зпустелювання, посилення водної та ві-

трової ерозії, падіння родючості ґрунтів, деградації агроєкосистем тощо. Індикатор є рівнозваженим середнім нормалізованих значень показників I_{UNF} «Підтоплення», I_{SLD} «Поширення зсувів», I_{DGR} «Деградація землі» та I_{EXH} «Порушені та відпрацьовані землі»

$$I_{LND} = \frac{1}{4} \cdot (I_{UNF} + I_{SLD} + I_{DGR} + I_{EXH}) \quad (3)$$

Показники цього індикатору представлено як відсоток території регіону.

Основною умовою здоров'я й благополуччя Людини є чисте повітря і безпечна вода [14, 15]. У структурі загальної захворюваності населення світу, зокрема і України, все більшу питому вагу займають хвороби, що є наслідком техногенного забруднення навколишнього середовища. Індикатор «Водні ресурси» компоненту «Екологічні системи» відображає екологічний стан водойм, а отже антропогенний вплив на господарсько-освоєні водозбірні території, забезпеченість населення водою та доступність безпечної питної води. Індикатор є зваженим середнім нормалізованих значень показників I_{FRW} «Використання води на господарсько-питні потреби», I_{BOD} «Біологічне споживання кисню», I_{PHF} «Концентрація фосфатів», I_{NIT} «Концентрація нітратів», I_{SOL} «Концентрація завислих речовин», I_{DWC} «Якість водопровідної води по хіміпоказниках» та I_{DWB} «Якість водопровідної води по бакпоказниках»

$$I_{WTR} = \frac{1}{3} \cdot \left[I_{FRW} + \frac{1}{2} \cdot (I_{DWC} + I_{DWB}) + \frac{1}{4} \cdot (I_{BOD} + I_{PHF} + I_{NIT} + I_{SOL}) \right] \quad (4)$$

Показник I_{FRW} – це обсяг води, використаної у регіоні на господарсько-питні потреби на душу населення. Показники I_{BOD} , I_{PHF} , I_{NIT} та I_{SOL} розраховують як середньорічні значення БСК₅, концентрації фосфатів, нітратів і завислих речовин, відповідно, усереднені по контрольних створах водних об'єктів оцінюваного регіону. Включити у розрахунки інші важливі показники стану водних екосистем, наприклад концентрацію розчиненого у воді кисню, концентрацію нафтопродуктів, тощо, не вдалось через відсутність значної частини даних по регіонах за 2008 рік. Показники I_{DWC} та I_{DWB} є частками нестандартних проб серед проведених досліджень проб з мережі централізованого водопостачання на санітарно-хімічні та бактеріологічні показники, відповідно. Врахувати у цьому дослідженні показники якості питної води у джерелах децентралізованого водопостачання (критичах, каптажах) було неможливо через відсутність даних по більшості регіонів України. Необхідно відзначити, що наявні значення цих показників у разі, а подекуди і на порядок, перевищують показники якості водопровідної води. Зокрема, кризовою є ситуація у Луганській області, де частка нестандартних проб питної води, взятих з джерел децентралізованого водопостачання, за хімічними показниками становила у 2008 р. 63%, за бактеріологічними – 34%. Подібну картину для звітнього року можна було спостерігати також у Кіровоградській (42% і 20%), Сумській (58% і 33%), Харківській (51% і 31%), Черкаській (45% і 28%) та інших областях України [12].

Кризове антропогенне навантаження на довкілля обумовлено високою концентрацією промислових підприємств і автомобільного транспорту на території України, зокрема значними обсягами викидів в атмосферне повітря від цих джерел. Використання кам'яного вугілля, топкових мазутів, особливо великомасштабне (виробництво електроенергії), спричиняє вищі концентрації двоокису сірки та інших забруднювальних речовин в атмосферному повітрі ніж використання для тих самих потреб, наприклад, природного газу. У процесі спалювання вугілля і мазуту в повітря надходять зола, сірчистий і сірчаний ангідриди, окиси азоту, газоподібні і тверді продукти неповного згорання палива тощо. Крім того, генерована таким чином електрична енергія є більш вуглецевоюмісною. Індикатор «**Викиди в атмосферне повітря**» компоненту «Екологічне навантаження» сформовано з нормалізованих значень показників I_{EKM} «Щільність викидів забруднювальних речовин», I_{VNC} «Щільність викидів забруднювальних речовин від автомобільного транспорту», I_{SKM} «Щільність викидів сполук сірки», I_{NKM} «Щільність викидів сполук азоту» та I_{VKM} «Щільність викидів летких органічних сполук», I_{CKM} «Кам'яне вугілля», I_{OIL} «Мазути топкові важкі» та I_{FWO} «Дрова для опалення»

$$I_{EMS} = \frac{1}{4} \cdot \left[I_{EKM} + I_{VNC} + \frac{1}{3} (I_{SKM} + I_{NKM} + I_{VKM}) + \frac{1}{3} (I_{CKM} + I_{OIL} + I_{FWO}) \right] \quad (5)$$

Усі показники цього індикатору стандартизовано по площі регіону (t/km^2), крім показника I_{FWO} , який стандартизовано на душу населення ($m^3/чол.$). Показник I_{SKM} охоплює викиди сполук сірки від стаціонарних джерел і викиди сірчистого ангідриду від пересувних джерел, показник I_{NKM} – викиди окисів азоту від стаціонарних джерел та викиди цієї забруднювальної речовини від пересувних джерел, показник I_{VKM} – викиди неметанових летких органічних сполук від стаціонарних джерел і викиди летких органічних сполук від пересувних джерел. Показники I_{CKM} , I_{OIL} та I_{FWO} відповідають обсягам споживання цих видів енергетичних матеріалів у регіоні в звітному році.

Індикатор «**Екологічний тиск і керування природними ресурсами**» компоненту «Екологічне навантаження» відображає стан та антропогенне навантаження на природні ресурси і є рівнозваженим середнім нормалізованих значень показників I_{FSH} «Виллов риби», I_{LOG} «Заготівля деревини», I_{FRS} «Зміна лісовкритої площі», I_{WDN} «Лісистість», I_{AGL} «Рілля», I_{BLD} «Забудовані землі», I_{WAT} «Вода з природних джерел»

$$I_{ECO} = \frac{1}{7} \cdot \left(\begin{matrix} I_{FSH} + I_{LOG} + I_{FRS} + I_{WDN} + \\ + I_{AGL} + I_{BLD} + I_{WAT} \end{matrix} \right) \quad (6)$$

Показник I_{FSH} отримують як частку фактичного виллову риби у затвердженому ліміті, значення є середнім по водних об'єктах регіону. Значення показника I_{LOG} – це обсяги заготівлі деревини у регіоні, які стандартизовано щодо площі земель лісгосподарського призначення регіону, що вкриті лісовою рослинністю. Зміну лісовкритої площі регіону (I_{FRS}) розраховано як кутовий коефіцієнт лінії регресії побудованої за п'ятьма точками – значеннями частки площі лісів та інших лісовкритих територій у площі регіону в 2004–

2008 рр. Показники I_{WDN} , I_{AGL} та I_{BLD} представлено як відсоток території регіону. Показник I_{WAT} відображає обсяги води, забраної з природних (поверхневих, підземних, морських) джерел регіону. Значення показника стандартизовано по площі оцінюваного регіону і помножено на обернену величину індексу питомої забезпеченості ресурсами місцевого річкового стоку. Індекси отримано у цьому дослідженні для оцінюваних регіонів по аналогії з роботою [16] на основі обсягів річкових стоків регіонів (питомі середні місцеві ресурси) [17].

Проблема відходів стоїть в Україні дуже гостро через великі обсяги їх утворення і накопичення та неефективну систему керування. Негативний вплив відходів на довкілля перетворюється нині у значну проблему, яка впливає на усі сфери суспільного життя. Найбільше відходів продукує промисловість, зокрема гірничо-металургійні підприємства. Індикатор «Поводження з відходами» компоненту «Екологічне навантаження» є рівнозваженим середнім нормалізованих значень показників I_{REC} «Використання відходів», I_{ACC} «Накопичення відходів», I_{WSA} «Площі під твердими побутовими відходами», I_{WKM} «Щільність утворення відходів», I_{WPC} «Утворення відходів на душу населення»

$$I_{WST} = \frac{1}{5} \cdot (I_{REC} + I_{ACC} + I_{WSA} + I_{WKM} + I_{WPC}) \quad (7)$$

Значення показника I_{REC} є часткою обсягу використаних відходів в обсязі відходів, що утворились в регіоні протягом звітного року. Показник I_{ACC} отримують за допомогою стандартизації по площі регіону обсягів наявних на кінець року відходів I-III класів небезпеки у місцях видалення та на території підприємств. Показники I_{WSA} та I_{WKM} також стандартизовано по площі регіону, а I_{WPC} – за чисельністю населення регіону, останні два показники відповідають обсягам утворених відходів за формою 14–МТП (номенклатура з 57 видів).

Щороку до водоймищ України потрапляє 5 млн тонн солей і значна частина стоків від тваринницьких комплексів. Майже половина мінеральних добрив і отрутохімікатів змивається з полів у ріки [18]. Забруднення природних вод України можна охарактеризувати як високе при наднизькому рівні очищення стічних вод. Оскільки Україна є вододефіцитною державою у цілому (дефіцит води нині складає 4 млрд. m^3), наслідки забруднення водного середовища можуть стати катастрофічними. Індикатор «**Водне навантаження**» компоненту «Екологічне навантаження» є зваженим середнім нормалізованих значень показників I_{CND} «Скидання забруднювальних речовин», I_{CON} «Щільність скидання забруднювальних речовин», I_{CNT} «Скидання забруднювальних речовин з перевищенням нормативів гранично допустимого скидання (ГДС)», I_{RWd} «Скидання зворотних вод», I_{RWC} «Скидання забруднених зворотних вод без очищення», I_{RUW} «Економія свіжої води за рахунок оборотної», I_{FRT} «Використання мінеральних добрив» та I_{PST} «Використання пестицидів»

$$I_{WST} = \frac{1}{4} \cdot \left[\begin{matrix} \frac{1}{3} \cdot (I_{CND} + I_{CON} + I_{CNT}) + I_{RUW} + \\ + \frac{1}{2} \cdot (I_{RWd} + I_{RWC}) + \frac{1}{2} \cdot (I_{FRT} + I_{PST}) \end{matrix} \right] \quad (8)$$

Показник I_{CND} та I_{CON} розраховують як обсяги скидання забруднювальних речовин, стандартизовані по обсягах використаної у регіоні води протягом звітного року та території регіону, відповідно. Значення показника I_{CNT} є часткою обсягів скидання забруднювальних речовин з перевищенням нормативів ГДС у загальному обсязі скинутих забруднювальних речовин. Наступний показник (I_{RWD}) стандартизовано на душу населення, а показник I_{RWC} – це частка забруднених зворотних вод, скинутих без очищення, у загальних обсягах скидання зворотних вод. Показник I_{RUW} відображає обсяги оборотної, повторної і послідовно використаної води як відсоток спожитої свіжої води у регіоні. Останні два показники (I_{FRT} , I_{PST}) представляють середню щільність внесення (кг/га) мінеральних добрив і засобів захисту рослин (ЗЗР), у т.ч. пестицидів, по сільгоспідприємствах регіону.

Радіаційний вплив залишається одним із найбільш небезпечних техногенних факторів, які негативно позначаються на умовах життя населення і навколишньому природному середовищі [19]. Індикатор «**Радіологічний стан території та радіаційна безпека**» компоненту «Небезпеки» є зваженим середнім нормалізованих значень показників I_{CAE} «Забрудненість території цезієм-137», I_{C90} «Забрудненість території стронцієм-90», I_{PLU} «Забрудненість території ізотопами плутонію», I_{HZR} «Радіаційне зараження», I_{RDL} «Радіоактивно забруднені землі» та I_{RDS} «Джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ)»

$$I_{RAD} = \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot (I_{CAE} + I_{C90} + I_{PLU}) + I_{HZR} + I_{RDL} + I_{RDS} \right] \quad (9)$$

Показники I_{CAE} , I_{C90} , I_{PLU} представляють забрудненість території регіону ^{137}Cs , ^{90}Sr та $^{238+239+240}\text{Pu}$, відповідно, отримувану як зважене середнє частки (%) території регіону з різною щільністю забруднення. Запропоновано ваги для розрахунку значення показника I_{CAE} : для щільності забруднення цезієм-137 менше $0,054 \text{ Ки/км}^2 - 0,002$, від $0,054 \text{ Ки/км}^2$ до $0,27 \text{ Ки/км}^2 - 0,008$, від $0,27 \text{ Ки/км}^2$ до $1,1 \text{ Ки/км}^2 - 0,02$, від $1,1 \text{ Ки/км}^2$ до $5,0 \text{ Ки/км}^2 - 0,07$, від $5,0 \text{ Ки/км}^2$ до $15,0 \text{ Ки/км}^2 - 0,2$ та більше $15,0 \text{ Ки/км}^2 - 0,7$; для розрахунку значення показника I_{S90} : для щільності забруднення стронцієм-90 менше $0,054 \text{ Ки/км}^2 - 0,01$, від $0,054 \text{ Ки/км}^2$ до $0,11 \text{ Ки/км}^2 - 0,04$, від $0,11 \text{ Ки/км}^2$ до $2,7 \text{ Ки/км}^2 - 0,25$ та більше $2,7 \text{ Ки/км}^2 - 0,7$; для розрахунку значення показника I_{PLU} : для щільності забруднення ізотопами плутонію менше $0,0011 \text{ Ки/км}^2 - 0,01$, від $0,0011 \text{ Ки/км}^2$ до $0,0054 \text{ Ки/км}^2 - 0,02$, від $0,0054 \text{ Ки/км}^2$ до $0,01 \text{ Ки/км}^2 - 0,04$, від $0,01 \text{ Ки/км}^2$ до $0,1 \text{ Ки/км}^2 - 0,15$ та більше $0,1 \text{ Ки/км}^2 - 0,78$. Показник I_{HZR} – це частка населення у зонах можливого радіаційного зараження (населення, яке проживає в зонах імовірного ураження внаслідок надзвичайних ситуацій техногенного характеру з викидом радіоактивних речовин у довкілля) [20]. Останні два показники (I_{RDL} , I_{RDS}) розраховують як площу радіоактивно забруднених земель і кількість ДІВ, що використовуються медичними і немедичними закладами, відповідно, значення стандартизовано по території регіону. Показники I_{CAE} , I_{S90} та I_{PLU} у цьому дослідженні отримано на основі даних 2006 року [21], а не звітного 2008 року, як більшість інших, що обумовлено неповнотою даних по звітному року, їхньою

розрізненістю та відмінностями у представленні по регіонах, показник I_{RHP} – на основі даних минулих звітних років через відсутність більш нових загальнонаціональних досліджень у цій сфері.

До основних чинників хімічної та екологічної небезпек в Україні слід віднести функціонування понад 1,4 тис. об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 350 тис. т небезпечних хімічних речовин (НХР) [19]. Особливу небезпеку для довкілля становлять аміакопроводи, хімічне виробництво, відстійники, сховища небезпечних речовин. Більшість підприємств усіх галузей промисловості працює на застарілому обладнанні [22], яке використовується понад 15-20 років і більше. Індикатор «**Хімічна і екологічна безпеки**» компоненту «Небезпеки» є зваженим середнім нормалізованих значень показників I_{HHZ} «Екологічно небезпечні підприємства», I_{HZA} «Хімічно небезпечні адміністративно-територіальні одиниці (АТО)», I_{HZO} «Хімічно небезпечні об'єкти», I_{HZC} «НХР», I_{HZU} «Обіг НХР», I_{PRT} «Незадовільне зберігання хімічних ЗЗР», I_{TOX} «Токсичні відходи» та I_{HZP} «Хімічне зараження»

$$I_{ECH} = \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot (I_{HZA} + I_{HXC} + I_{HZU}) + \frac{1}{2} \cdot (I_{HHZ} + I_{PRT} + I_{TOX} + I_{HZP}) \right] \quad (9)$$

Значення показників I_{HHZ} , I_{HZA} та I_{HZO} отримують як стандартизовані по території оцінюваного регіону кількість екологічно небезпечних підприємств, кількість хімічно небезпечних АТО і кількість хімічно небезпечних об'єктів, обсяг небезпечних хімічних речовин і обсяг небезпечних (токсичних) відходів, утворених протягом звітного року, відповідно. Показник I_{HZU} представляє кількість дозволів, які видано на право обігу отруйних речовин протягом звітного року. Значення показника I_{PRT} розраховують як частку складів на території регіону, де зберігаються заборонені та непридатні до використання в сільському господарстві хімічні ЗЗР в умовах незадовільного стану тари, у загальній кількості складів зберігання таких ЗЗР в Україні. Показник I_{HZP} – це частка населення у зонах можливого хімічного зараження [19].

Індикатор «**Екологічні проекти**» компоненту «Регіональне екологічне керування» є рівнозваженим середнім показників I_{ORG} «Екологічні організації», I_{NET} «Екологічна мережа», I_{MNP} «Спостереження за станом довкілля», I_{FNN} «Фінансування природоохоронних заходів» та I_{FNR} «Фінансування природоохоронних заходів до валового регіонального продукту (ВРП)»

$$I_{COL} = \frac{1}{5} \cdot (I_{ORG} + I_{NET} + I_{MNP} + I_{FNN} + I_{FNR}) \quad (11)$$

Показник I_{ORG} – це кількість місцевих громадських організацій природоохоронного спрямування. Показник I_{NET} розраховують як частку площі екомережі у загальній території регіону. Значення показника I_{MNP} отримують за допомогою стандартизації по площі регіону кількості точок спостереження за станом атмосферного повітря, за промисловими викидами в атмосферу, за станом річок, водоймищ, морських вод, підземних вод і ґрунтів. Показник I_{FNN} представляє собою сумарний обсяг фактичних видатків на приро-

доохоронні заходи у звітному році, фінансування яких здійснювалось за рахунок коштів Державного і Обласного (Республіканського) фондів охорони НПС, а показник I_{FNR} – частку обсягу фактичних видатків на природоохоронні заходи у звітному році, фінансування яких здійснювалось за рахунок коштів Обласного (Республіканського) фонду охорони НПС, у ВРП.

Сьогодні факт глобального потепління не викликає сумнівів і вважається експериментально доведеним: збільшення глобальної температури повітря та океанів, зменшення площі морського льоду, підвищення рівня Світового океану підтверджено довготривалими інструментальними вимірюваннями [23]. Україна входить до переліку країн, що підписали та ратифікували Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату та Кіотський протокол до неї та взяли на себе зобов'язання захищати кліматичну систему на благо нинішнього і прийдешнього покоління людства. Індикатор «**Викиди парникових газів**» компоненту «Регіональне екологічне керування» є рівнозваженим середнім показників I_{CFI} «Інтенсивність вуглецевого сліду», I_{GHC} «Викиди парникових газів на душу населення», I_{GHR} «Викиди парникових газів до ВРП» та I_{FRE} «Поновлення лісу»

$$I_{GHG} = \frac{1}{4} \cdot (I_{CFI} + I_{GHC} + I_{GHR} + I_{FRE}) \quad (12)$$

Значення показників I_{CFI} , I_{GHC} та I_{GHR} отримують як обсяг викидів парникових газів у регіоні протягом звітного року, який стандартизовано по загальній кількості суб'єктів підприємницької діяльності регіону, що здійснюють викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря, по чисельності населення регіону та по ВРП, відповідно. Значення показника I_{FRE} розраховують як кутовий коефіцієнт лінії регресії побудованої за трьома точками, які представляють відношення площі відтворених лісів на землях лісового фонду до сумарної площі зрубаних лісових культур (тільки рубки головного користування) та загиблих лісових насаджень у 2006–2008 рр.

Транспортування відходів на надмірно великі відстані може завдати шкоди довкіллю, особливо якщо мова йде про відходи I-III класів небезпеки. Індикатор «**Екологічний тиск перевезення відходів**» компоненту «Регіональне екологічне керування» містить нормалізоване значення єдиного показника I_{WSP} «Одержання і передавання відходів», який є сумою обсягів одержання від інших підприємств, у т.ч. інших країн, і передавання іншим підприємствам, у т.ч. іншим країнам, відходів I-III класу небезпеки.

3. Агрегування складових індексу

Як видно з формул (1)–(12), для порівняльного оцінювання проводиться стандартизація вихідних даних у показники відносно таких знаменників як ВРП, народонаселення, територія тощо, наприклад обсяг викидів забруднювальних речовин розглядається відносно території і населення. Стандартизовані показники вимірюються за допомогою різних одиниць, по різному інтерпретуються і змінюються в різних діапазонах, тому їх перетворено до нормалізованого вигляду за формулою

$$I_k = (+1|-1) \cdot \frac{X_k - \mu_k}{\sigma_k}, \quad k = 1..78, \quad (13)$$

де I_k – нормалізоване значення k-го показника екологічної сталості; X_k – значення k-го показника екологічної сталості; μ_k – середнє по оцінюваних регіонах значення k-го показника екологічної сталості; σ_k – стандартне відхилення значень k-го показника екологічної сталості для оцінюваних регіонів України; k – код показника екологічної сталості. Для показників, у яких високі значення відповідають високому рівню екологічної сталості, від значення показника віднімається середнє по регіонах, низькому рівню екологічної сталості – навпаки. Таким чином, від'ємні нормалізовані значення показників відповідають значенням нижчим за середні по Україні, а додатні – вищим. Нормалізування дає змогу розрахувати кожний з індикаторів через його складові (показники) за допомогою зваженого або рівноцінного усереднення за формулами (1)–(12).

Нормалізування значень показників по оцінюваних об'єктах здійснено без додаткових перетворень (логарифмування, взяття кореню, замінювання частини екстремальних значень тощо), не дивлячись на значну асиметрію (> 4) значень, отриманих за даними 2008 р., а саме близько однієї п'ятої (18%) показників. Це обумовлено необхідністю збереження дійсної картини по регіонах, оскільки вирівнювання, вилучення і замінювання значень показників спотворює результати оцінювання. Нормалізування показників знімає ефект масштабування, але нормалізовані показники залежать від статистичних характеристик спостережуваних даних. Вони є відносними перетвореннями й змінюються кожного разу, коли змінюються дані, структура індексу тощо. Тому, якщо всі об'єкти, тобто регіони, покращать значення деякого показника на одну й ту саму величину, це покращення не вплине на значення нормалізованого показника, незважаючи на те, що реальне значення змінилось. Це означає, що отримувані значення індикаторів, компонентів й самого індексу не несуть корисної інформації, результатом оцінювання є порівнювання цих значень, зокрема у вигляді рейтингів.

Оскільки індекс екологічної сталості та його компоненти використовується для кількісного визначення ймовірності, з якою порівнювані об'єкти (регіони України) будуть здатні зберігати наявні ресурси НПС протягом наступних років і уникати екологічної деградації, для отримання значень компонентів екологічної сталості використаємо стандартний нормальний інтегральний розподіл [7]

$$C_j = 100 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \right) \cdot \int_{-\infty}^{M_j} e^{-\frac{M_j^2}{2}}, \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad (14)$$

де C_j – значення j-го компоненту екологічної сталості; M_j – середнє значень індикаторів j-го компоненту; j – код компоненту. Індекс URESI 2008 розраховано також за формулою (14) за допомогою середнього значення 13 індикаторів.

4. Особливості оцінюваних об'єктів і аналізування результатів

Результати використання URESI 2008 значною мірою залежать від якості вихідних даних. Вихідні набори

даних для розрахунку значень показників екологічної сталості отримано з екологічних паспортів регіонів [24] та регіональних доповідей про стан НПС [12] Міністерства охорони навколишнього природного середовища, даних Державного комітету статистики України [22, 25], Державного комітету ядерного регулювання України [26], Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи [19, 21] та інших джерел. Оцінювання екологічної сталості проведено за відсутності близько 4% значень показників; відновлення значень показників у цьому дослідженні не проводилось.

Особливістю розрахунку URESI 2008 та його складових є включення до розгляду таких адміністративно-територіальних утворень (АТУ) України як м. Київ та м. Севастополь на відміну від попереднього дослідження [8]. Оцінювання АТУ окремо, особливо м. Києва, призводить до «перекосу» результатів, їх нерівноцінності. Це спричинено тим, що м. Київ як окремий і специфічний об'єкт аналізування, характеризується найбільшою часткою екстремальних значень по показниках серед АТУ України: найвища щільність викидів забруднюючих речовин, зокрема і від автотранспорту, найбільша забудованість території, найвищі значення щільності забирання води та її питомого використання, найбільша щільність точок спостереження за станом довкілля і т.д., і т.п. Тому попередньо до розрахунку значень показників та їх нормалізування було здійснено об'єднання вихідних наборів даних для м. Києва і Київської області та м. Севастополя і АР Крим.

Об'єднання вихідних наборів даних м. Києва і Київської області (агломерат «Київська область») та м. Севастополя і АР Крим (агломерат «Крим») здійснено підсумовуванням, усередненням і зваженим усередненням. Більша частина вихідних наборів даних дає змогу отримати значення для агломератів підсумовуванням, як територія, викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря, обсяги утворення відходів тощо. Початкові значення деяких наборів даних потребують усереднення і зваженого усереднення. Наприклад, набір даних «Лісистість», який у вихідних даних представлений у відсотках, зважується на частку території АТУ в агломераті, а «Населення у зонах можливого хімічного зараження» – на частку населення і т.п. (табл. 1).

Таблиця 1

Ваги агломерування значень вихідних наборів даних

Вихідний об'єкт	Ваги по площі	Ваги по населенню (2008 р.)
м. Київ	0,029	0,615
Київська область	0,971	0,385
м. Севастополь	0,040	0,162
АР Крим	0,960	0,838

Було проведено оцінювання екологічної сталості 23 регіонів України та двох умовних агломератів, а саме отримано значення 78 показників на основі близько 150 наборів даних, розраховано значення індикаторів екологічної сталості, проведено їх нормалізування та визначено значення компонентів та індексу URESI 2008. Рейтинги оцінюваних об'єктів по компонентах (R_{SYS} , R_{STR} , R_{HAZ} і R_{REG}) та URESI (R) наведено у табл. 2, де ВН – Вінницька, ВЛ – Волинська, ДП – Дніпро-

петровська, ДН – Донецька, ЖТ – Житомирська, ЗК – Закарпатська, ЗП – Запорізька, ІФ – Івано-Франківська, КР – Кіровоградська, ЛГ – Луганська, ЛВ – Львівська, МК – Миколаївська, ОД – Одеська, ПЛ – Полтавська, РВ – Рівненська, СМ – Сумська, ТР – Тернопільська, ХА – Харківська, ХР – Херсонська, ХМ – Хмельницька, ЧК – Черкаська, ЧН – Чернівецька, ЧР – Чернігівська області, КО – агломерат «Київська область», АР – агломерат «Крим».

Таблиця 2

Покомпонентні та загальний рейтинг екологічної сталості регіонів України

Об'єкт	R_{SYS}	R_{STR}	R_{HAZ}	R_{REG}	R
ВН	21	19	18	17	20
ВЛ	2	3	2	6	1
ДП	16	24	23	2	24
ДН	25	25	24	23	25
ЖТ	8	2	22	7	3
ЗК	18	12	7	3	10
ЗП	15	21	20	24	22
ІФ	13	17	14	16	17
КР	19	4	4	8	4
ЛГ	23	22	12	4	19
ЛВ	9	14	8	13	6
МК	20	1	9	22	7
ОД	24	20	11	1	18
ПЛ	10	9	15	15	11
РВ	22	6	10	9	15
СМ	12	7	17	10	9
ТР	7	5	5	21	5
ХА	5	16	16	20	13
ХР	17	8	13	11	16
ХМ	11	11	3	18	8
ЧК	4	13	21	14	14
ЧН	14	18	1	12	12
ЧР	3	15	6	5	2
КО	1	23	25	19	21
АР	6	10	19	25	23

Зручним для аналізування отримуваних результатів є їх візуалізація, наприклад графіки значень індексу і компонентів, покомпонентні діаграми і діаграми індикаторів (рис. 2–4).

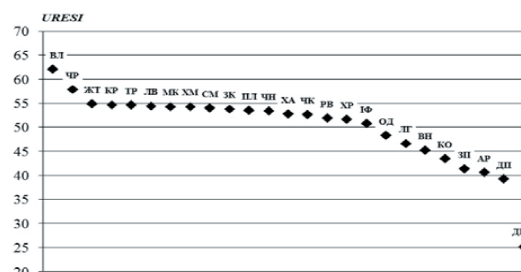


Рис. 2. URESI 2008

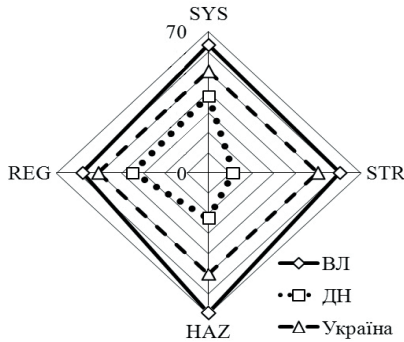


Рис. 3. Порівняльна компонентна діаграма Волинської і Донецької областей з середніми значеннями компонентів по Україні

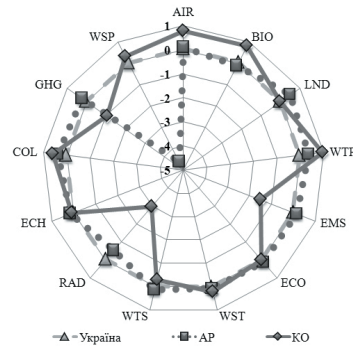


Рис. 4. Порівняльна діаграма значень індикаторів агломератів «Київська область» і «Крим» з середніми значеннями індикаторів по Україні

Як видно з рис. 2 та показує кластерний аналіз виходячи зі значення URESI 2008 оцінювані об'єкти було розбито на чотири кластери:

кластер 1 «Висока екологічна сталість» містить Волинську і Чернігівську області;

кластер 2 «Середня екологічна сталість» – Житомирську, Закарпатську, Івано-Франківську, Кіровоградську, Львівську, Миколаївську, Полтавську, Рівненську, Сумську, Тернопільську, Харківську, Херсонську, Хмельницьку, Чернівецьку і Черкаську області;

кластер 3 «Низька екологічна сталість» – Вінницьку, Дніпропетровську Запорізьку, Луганську і Одеську області та агломерати «Київська область» і «Крим»;

кластер 4 «Наднизька екологічна сталість» – Донецьку область.

Така агрегована оцінка як URESI 2008 не дає змогу визначити конкретні проблеми регіону. Для кожного регіону необхідно проводити зворотний аналіз, а саме повернутись до значень компонентів, індикаторів і показників. Тут важливу роль в інтерпретуванні результатів та підтримуванні прийняття рішень можуть відігравати профілі екологічної сталості регіонів, які містять візуалізовані результати оцінювання від показників до індексу.

На рис. 5 наведено профіль екологічної сталості Харківської області, отриманий на основі даних 2008 року за модифікованою моделлю URESI. Харківська область займає 13 позицію з 25 оцінюваних регіонів за екологічною сталістю. З компонентної діаграми видно, що значення компонентів «Екологічні системи», «Еко-

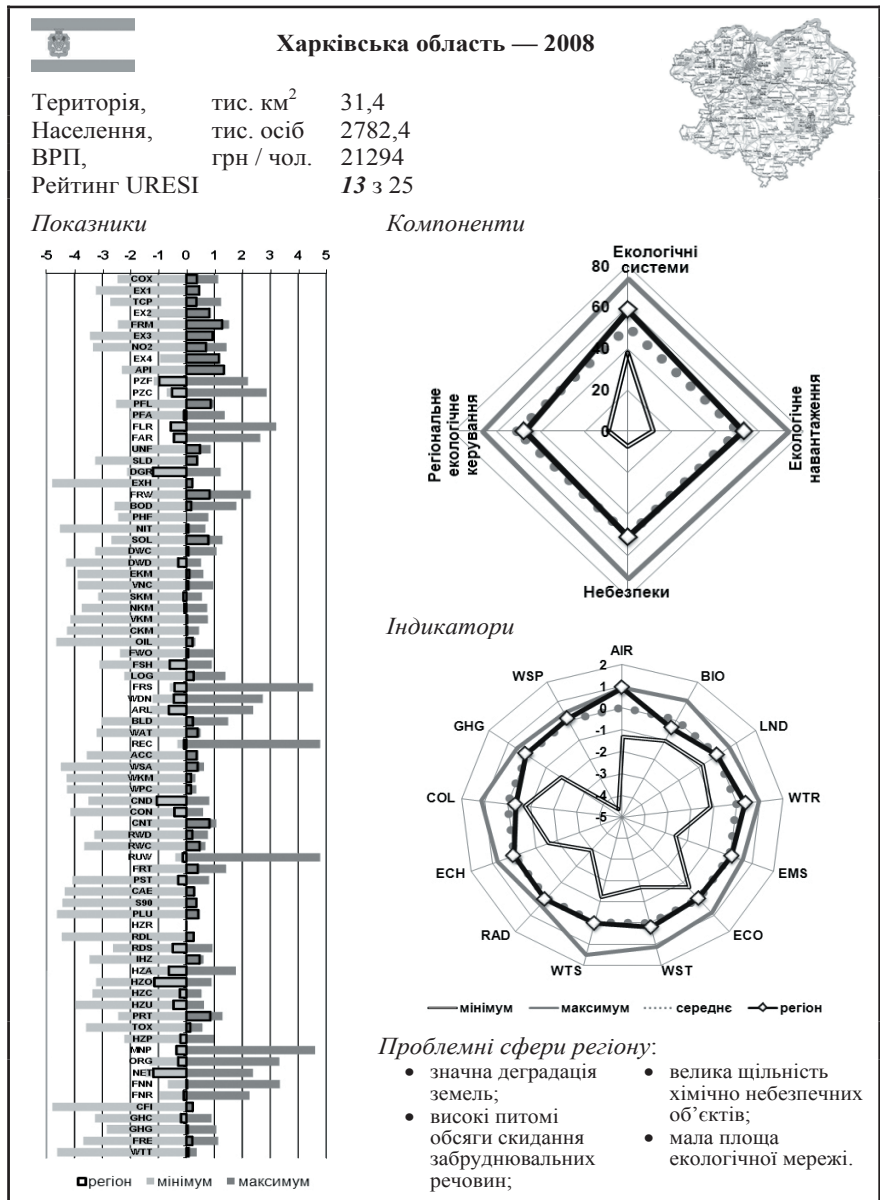


Рис. 5. Профіль екологічної сталості Харківської області 2008 р.

логічне навантаження», «Небезпеки» і «Регіональне екологічне керування» близькі до середніх значень по Україні. Діаграма індикаторів показує, що 13 позиція

цього регіону пояснюється значеннями індикаторів екологічної сталості, які є близькими до середніх по Україні, лише індикатор «Атмосферне повітря» має найбільше значення серед значень цього індикатора для оцінюваних регіонів. Нарешті конкретні проблеми регіону і сфери високої екологічної сталості можна візуалізувати за гістограмою показників. Для Харківської області це значна деградація земель, високі питомі обсяги скидання забруднювальних речовин, велика щільність хімічно небезпечних об'єктів, мала площа екологічної мережі, але відносно чисте атмосферне повітря, що видно зі значень перших дев'яти показників, низька частка обсягів скидання забруднювальних речовин з перевищенням нормативів ГДС у загальному обсязі скинутих забруднювальних речовин.

5. Висновки

Модифіковано український регіональний індекс екологічної сталості на основі врахування екологічної уразливості територій. Наведено результати оцінювання екологічної сталості регіонів України за даними 2008 року, а саме рейтинги регіонів за компонентами «Екологічні системи», «Екологічне навантаження», «Небезпеки» та «Регіональне екологічне керування» та індексом URESI 2008, зокрема екологічну сталість Волинської і Чернігівської області визначено як високу, Донецької області – як наднизьку. Показано корисність і ефективність використання візуалізації отримуваних результатів оцінювання територій на усіх рівнях агрегування даних, від показників до індексу, у вигляді порівнювальних діаграм задля спрощення сприйняття та підтримання прийняття рішень.

Література

1. An overview of sustainability assessment methodologies [Text] / R.K. Singh, H.R. Murty, S.K. Gupta, A.K. Dikshit // Ecological indicators. – 2009. – Vol. 9. – P. 189-212.
2. Індикатори устійного розвитку 2002 – проект «Ро-за ветров» – публікації [Electron. resource]. – Access link: <http://www.ecology.donbass.com/pages/publ/indicators2002.htm>.
3. Панкратова, Н.Д. К вопросу разработки индикаторов устойчивого развития прибрежной зоны Крыма [Текст] / Н.Д. Панкратова, Л.М. Бугаева, А.Ю. Безносик // Вісник ЧДТУ. – 2008. – №4. – С. 48–52.
4. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти: У 2 ч. / Міжнар. рада з науки (ICSU) [та ін.]; наук. кер. М.З. Згуровський. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – Ч. 2. Україна в індикаторах сталого розвитку. Аналіз – 2009. – 200 с.
5. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти: У 2 ч. / Міжнар. рада з науки (ICSU) [та ін.]; наук. кер. М.З. Згуровський. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – Ч. 1. Глобальний аналіз якості та безпеки життя людей. – 280 с.
6. Sustainability Indicators: A Scientific Assessment [Text] / ed. T. Hak, B. Moldan, and A.L. Dahl. – Washington: Island Press, 2007. – 448 pp.
7. 2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship: [Electron. resource]. – Access link: <http://www.yale.edu/esi/>.
8. Статюха, Г.О. Оцінювання екологічної сталості регіонів України на основі даних 2005-2007 років [Текст] / Г.О. Статюха, І.М. Джигирей, І.А. Тищенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 3. – С. 20–25.
9. Shah, Reena. International Frameworks of Environmental Statistics and Indicators: [Electron. Resource] / Reena Shah; Statistics Division, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. – Access link: <http://www.unescap.org/stat/envstat/stwes-015.pdf>.
10. Environmental Vulnerability Index (EVI) [Electron. resource]. – Access link: <http://www.vulnerabilityindex.net/index.htm>.
11. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє [Текст]: Національна доповідь України.– К.: Атіка, 2006.– 224 с.
12. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у 2008 році: [Електрон. ресурс] / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/cgi-bin/go?node=REG%20dop%20p%20NPS>.
13. Кузьменко, В. «Паспортизація» всіх українських земель не за горами: [Електрон. ресурс] / В. Кузьменко; Урядовий портал. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=3344139&cat_id=435977
14. ВОЗ | Вода: [Електрон. ресурс] / Всемирная организация здравоохранения. – Режим доступа: <http://www.who.int/topics/water/ru/>.
15. ВОЗ | Воздух: [Електрон. ресурс] / Всемирная организация здравоохранения. – Режим доступа: <http://www.who.int/topics/air/ru/>.
16. Руденко, Л. Природно-ресурсний потенціал економічного зростання / Л. Руденко, С. Лісовський // Вісник НАН України. – 2001. – № 4. – С. 20–32.
17. Про Загальнодержавну програму розвитку водного господарства [Електрон. ресурс]: [закон України: офіц. текст: за станом на 31 березня 2003 року]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2988-14>.
18. Джигирей, В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища [Текст]: навч. посіб. / В.С. Джигирей. – 5-те вид., випр. і доп. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2007. – 422 с.
19. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році: [Електрон. ресурс] / Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2008.html.
20. Підкамінний, І.М. Регіональні аспекти техногенно-екологічної безпеки населення України [Текст]: дис. канд. екон. наук: 08.10.01 / НАН України; І.М. Підкамінний. – К., 2000. – 180 с.
21. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів) [Електрон.

- ресурс]: інформаційний бюлетень / Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/UserFiles/File/2009/table_1.pdf.
22. Інтерактивні електронні статистичні карти: [Електрон. ресурс] / Державний комітет статистики України. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/SIMap/index_new.html.
23. П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату [Електрон. ресурс]: проект. – Режим доступу: http://www.menr.gov.ua/documents/PR_V_NacDop_ZminaKlimaty_301109.rar.
24. Екологічні паспорти регіонів: [Електрон. ресурс] / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/cgi-bin/go?node=Ekol%20pass>.
25. Статистичний щорічник України за 2008 р. [Текст] / Держкомстат України; за ред. О.Г. Осауленка. – К., 2009. – 566 с.
26. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2008 році [Текст] / Державний комітет ядерного регулювання України; редкол.: О.А. Миколайчук та ін. – К.: Держатомрегулювання, 2008. – 88 с.

УДК 502/504

МЕХАНІЗМ РЕАКЦІЙ ГІДРОКСИЛЬНИХ РАДИКАЛІВ ПРИ ОБРОБЦІ ВОДИ У КАВІТАЦІЙНОМУ ПРИСТРОЇ

Т.М. Вітенько

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра обладнання харчових технологій
Тернопільський державний технічний університет
імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46000
Контактний тел.: (0352) 25-17-89
E-mail: vitenko@tstu.edu.ua

Я.М. Гумницький

Доктор технічних наук, професор
Кафедра “Екологія та охорона навколишнього
середовища”
Національний університет “Львівська політехніка”
вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, 79013
Контактний тел.: (032) 258-23-54, 097-471-63-74
E-mail: jgumnitsky@ukr.net

Розроблено кінетичну та аналітичну моделі для опису реакцій з радикалами у воді, ініційованих кавітаційними ефектами. Отримано рівняння, що дозволяє кількісно оцінити зміну концентрації радикалів OH^\bullet і H^\bullet у рідкій фазі з часом

Ключові слова: міграція, молекулярна дифузія, математичні моделі

Разработана кинетическая и аналитическая модели, описывающие реакции с радикалами в воде, которые инициируются кавитационными эффектами. Получено уравнение, позволяющее количественно оценить изменение концентрации радикалов OH^\bullet и H^\bullet в жидкой фазе во времени

Ключевые слова: миграция, молекулярная диффузия, математические модели

Kinetic and analytical models to describe reactions with the radicals in water, initiated by the cavitation effects are developed. The equation to make quantitative assessment of the OH^\bullet and H^\bullet radicals' concentration change in time in the liquid phase is obtained

Key words: migration, molecular diffusion, mathematical models

1. Вступ

Результати робіт, що присвячені динаміці й механізму фізичних процесів, які супроводжують гідродинамічну кавітацію дозволяють передбачити, що локальне концентрування енергії та суттєве зростання температури у об'ємі парогазової бульбашки призводить до активації та розщеплення молекул води, що дифундують у бульбашку впродовж періоду її

розширення. Такі умови сприяють утворенню радикалів (OH^\bullet , H^\bullet , HO_2^\bullet) та продуктів їх рекомбінації (H_2 , H_2O_2) [1-4]. Важливим є те, що внаслідок таких змін підвищується фізико-хімічна активність води. Встановлення ступеня її активації є питанням важливим і актуальним.

Тому, метою роботи було розроблення кінетичної та математичної моделей хімічних процесів у воді на основі механізму реакцій з участю радикалів.