

УДК 621.396.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/22>

Лисенко О.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Турейчук А.М.

Українська військово-медична академія

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Новіков В.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сушин І.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Нідченко І.А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОДОЛОГІЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СКЛАДУ СЕНСОРІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕДУР ТА АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ РОЗПОДІЛЕНОГО ТЕХНОГЕННОГО ОБ'ЄКТУ

Стаття присвячена розробці методології обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту. Проведено аналіз складників техногенного навантаження видів діяльності розподіленого техногенного об'єкту на його наземну екосистему та сформовано вимоги до якісного складу комплексу датчиків первинної інформації, які повинні забезпечити: оцінку фактичного стану екосистеми; ідентифікацію складника антропогенного впливу факторів функціонування розподіленого техногенного об'єкту; прогноз стану екосистеми; формування пропозицій особі, що приймає рішення, щодо управління станом екосистеми і екологічною безпекою.

Головним методологічним підходом щодо розробки вимог до складу комплексу сенсорів безпроводової сенсорної мережі є з'ясування тієї моделі вхідної по відношенню до алгоритму або процедури, інформації, яка забезпечує виконання відповідних розрахунків в інтересах спостереження стану забруднення природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів

Також у статті визначено склад параметрів розподіленого техногенного об'єкту, які необхідно враховувати під час оцінювання та прогнозування стану екосистеми та розроблено структури процедур, що дозволяють визначити склад сенсорів безпроводової сенсорної мережі для: вимірювання вектору забруднення наземної екосистеми від діяльності розподіленого техногенного об'єкту та фонового забруднення. Вказано на необхідність спостереження за біотичним складником наземної екосистеми розподіленого техногенного об'єкту.

Ключові слова: безпроводова сенсорна мережа, сенсор, датчик первинної інформації, розподілений техногенний об'єкт, моніторинг навколишнього природного середовища.

Вступ. Ця стаття є розвитком (деталізацією) ідей, які були висловлені у попередній статті [1]. Розвиток (деталізація) полягає у переході від методики формулювання вимог до безпроводової сенсорної мережі в цілому до формулювання вимог до комплексу сенсорів, який дозволяє виконувати конкретні вимірювальні дії. Тобто ця стаття конкретизує методологію обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту (РТО). Під розподіленими техногенними об'єктами (РТО) будемо розуміти, так само як і у [1], випробувальні полігони, кар'єри, шахти, техногенні об'єкти із значною просторовою протяжністю та прилеглими територіями (наприклад, атомні електростанції), території захоронення забруднюючих речовин, а також відходів виробництва та життєдіяльності, зони стихійного лиха.

Проблема полягає в тому, що загально існуюча кількість забруднень у світі наближається до 10 000 [2-11]. Мати повний набір сенсорів по всіх видах забруднення на кожному РТО не раціонально. Потрібно знайти методологію раціонального формування комплексу сенсорів для кожного РТО. Саме розв'язанню задачі щодо розробки методології раціонального вибору якісного складу сенсорів БСМ для системи екологічного моніторингу РТО і присвячена дана стаття.

Постановка задачі дослідження.

Моніторинг екосистеми розподіленого техногенного об'єкту – це апаратно-аналітична система спостережень, ідентифікації, контролю стану мікро- та мезоекологічних систем, що знаходяться на території РТО, а також локальної екосистеми всього РТО в цілому у складі регіональної екосистеми з метою прогнозування розвитку природно-техногенних процесів на РТО під впливом факторів функціонування РТО. Зрозуміло, що цей моніторинг використовується для підтримки прийняття рішення щодо управління станом навколишнього природного середовища (НПС) розподіленого техногенного об'єкту [2–13].

Результатом оцінки стану екосистеми РТО буде чисельне значення системоутворюючого показника стану екосистеми.

Комплект датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі системи екологічного моніторингу РТО повинен дозволити реалізовувати інформаційно-технологічні операції за наступними напрямками [2–14]:

1. Спостереження за факторами впливу і станом екосистеми.
2. Оцінка фактичного стану екосистеми.
3. Ідентифікація складника антропогенного впливу факторів функціонування РТО.
4. Прогноз стану екосистеми.
5. Формування пропозицій особі, що приймає рішення, щодо управління станом екосистеми і екологічною безпекою.

Реалізація зазначених інформаційно-технологічних операцій дозволить виконати усі завдання екологічного моніторингу РТО:

1. Виявлення та реєстрація джерел техногенних навантажень, що пов'язані з діяльністю РТО, а також джерел іншого походження, які знаходяться в межах районів дислокації РТО та у безпосередній близькості від них.

2. Встановлення масштабів і інтенсивності екологічно несприятливих та небезпечних факторів впливу в межах районів дислокації і насамперед на функціональних об'єктах РТО.

3. Ідентифікація поточного екологічного стану всієї території та всіх об'єктів РТО.

4. Вивчення здатності екосистеми до самовідновлення.

5. Ідентифікація структури та параметрів моделей екологічної обстановки по кожній компоненті забруднення з метою прогнозування розвитку екологічної ситуації.

6. З'ясування екологічного стану РТО без антропогенного впливу агресивної техногенної діяльності, тобто «еталонного» стану РТО.

7. Виявлення найбільш забруднених зон РТО для можливості зонування щодо ступеня забрудненості території з метою проведення подальших рекультивацийних робіт.

8. Визначення параметрів процесів міграції екологічно-небезпечних речовин: по території РТО; з території РТО за його межі; із-за меж РТО на його територію.

9. Моніторинг РТО як елемента соціо-еколого-економічної системи регіону і держави в цілому.

Екологічний моніторинг РТО є складником об'єктового екологічного моніторингу, який існує в системі державного моніторингу як відомчий. Він забезпечує функціонування автоматизованої підсистеми екологічного моніторингу й інформаційне поєднання її з державною системою та відомчими підсистемами.

Згідно з класифікацією [5–7] екологічний моніторинг РТО, що існує на теперішній час, – це пасивний, дискретний, локальний, площинний, геофізичний моніторинг джерел фізико-хімічного

впливу, що має характер охорони периметрів РТО і який проводиться шляхом ручного або автоматизованого відбору проб з наступною обробкою їх у стаціонарних лабораторіях.

На сучасному етапі проводиться розробка та реалізація концепції автоматизованої системи екологічного моніторингу РТО на базі перспективних «хмарних» та «туманних» технологій обробки великих даних.

Натепер алгоритми і процедури екологічного моніторингу РТО не забезпечені повною мірою інформацією від спеціальних безпроводових мультисенсорних мереж [2–6].

У системі екологічного моніторингу РТО, що існує натепер, відсутній постійний безперервний збір та попередня аналітична обробка інформації. Вона надається лише за запитом від верхнього за ієрархією рівня, або в разі безпосереднього виникнення надзвичайної ситуації екологічного характеру. За таких умов у разі виникнення надзвичайних ситуацій екологічного характеру або терористичних дій із застосуванням різного роду небезпечних речовин відсутня можливість оперативного оповіщення відповідних державних служб. Розгляд діяльності РТО виявив той факт, що заходи із застосування нової техногенно-небезпечної техніки супроводжуються утворенням специфічних негативних впливів, які не мають аналогів у інших видах людської діяльності. Це означає відсутність сенсорів, які б могли своєчасно фіксувати появу цих небезпечних речовин.

Таким чином, все вищезначене показує, що інформаційне забезпечення системи екологічного моніторингу РТО не забезпечує належний рівень спостережливості процесів на території розташування РТО та на функціональних об'єктах РТО. Ця обставина вимагає проведення спеціальних теоретичних досліджень щодо методичного забезпечення вирішення задачі формування якісного складу вектора вимірювань факторів функціонування РТО, і ці вимірювання буде отримано від датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі [15–29].

Метою статті є розробка методології обґрунтування вимог до складу сенсорів безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту.

Виклад основного матеріалу. Головним методологічним підходом до розробки вимог до складу комплексу сенсорів БСМ є з'ясування тієї моделі входної по відношенню до алгоритму або процедури, інформації, яка забезпечує виконання

відповідних розрахунків в інтересах спостереження стану забруднення природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів

1. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) завдяки розробці алгоритму обчислення індексу забруднення наземної екосистеми РТО.

Існують декілька визначень терміну «забруднення», але їх суть зводиться до одного – це привнесення в навколишнє середовище нехарактерних для нього речовин або вміст характерних речовин у нехарактерних кількостях [2–9, 30–33]. Під забрудненням наземних екологічних систем розподілених техногенних об'єктів (РТО) будемо розуміти відхилення хімічних, фізичних, біологічних характеристик біотопу (повітря, води, ґрунту) та біоценозу (тварин, рослин) від деяких значень, які визначають норму.

Аналіз питання оцінки стану забруднення наземної екосистеми РТО показав, що для вирішення цієї задачі достатньо контролювати поточні, фонові та граничнодопустимі параметри забруднення екосистеми та функціональні параметри РТО [2–9, 30–33].

Розглянемо особливості визначення зазначених параметрів з урахуванням специфіки функціонування РТО.

У відповідності із рекомендаціями Комісії зі стійкого розвитку при ООН (CSD), Міжнародного комітету з екологічних індексів та індикаторів (ICEI) і Комітету з екологічного моделювання (ISEM) [2–9, 30–33] для характеристики забруднення наземної екосистеми РТО пропонується використовувати узагальнюючі показники, які отримали назву індекси забруднення відповідного середовища (атмосфери, поверхневих та ґрунтових вод, ґрунтів). У роботах [2–9, 30–33] розглянуто прості, агреговані, інтегральні та комплексні індекси забруднення наземної екосистеми. Для оцінки стану наземної екосистеми РТО доцільно використовувати узагальнений індекс забруднення [2–9, 30–33], алгоритм обчислення якого полягає в наступному.

Натепер рівень забруднення наземної екосистеми визначається із використанням доступних для апаратного вимірювання фізико-хімічних величин, що мають назву концентрація забруднення і позначаються C .

Концентрація C може бути як точковою характеристикою, так і усередненою за об'ємом, площею або іншим узагальнюючим показником відповідної наземної екосистеми РТО, її підсис-

теми, функціонального об'єкту або його частини. Крім того, концентрації відрізняються за типами забруднення. Саме з чисельних значень цих класифікаційних різновидів концентрацій і складається вектор забруднення Z .

Слід звернути увагу на те, що кожній місцевості притаманні свої фонові концентрації C_{fon} .

Необхідно зауважити, що деякі компоненти первинного забруднення можуть вступати у взаємодію із компонентами навколишнього природного середовища (НПС) чи іншими забруднюючими речовинами, утворюючи вторинне забруднення [3; 4]. Крім того, потрібно враховувати «старіння» забруднюючої речовини, внаслідок чого його негативна дія на живі організми з часом зменшується і при повному розпаді припиняється або забруднююча речовина консервується і може себе проявити потім. На теперішній час ведуться активні дослідження по встановленню гранично допустимих концентрацій як за окремою дією різних забруднюючих речовин на рослини і тварин, так і при комплексній дії. Ці дослідження далекі від завершення [4, 5]. Тому алгоритм обчислення узагальненого індексу побудуємо із використанням доступної вже зараз інформації.

Враховуючи вищенаведене, пояснимо на прикладі алгоритм обчислення індексу забруднення обмеженої території (рис. 1).

У наведеному прикладі розглядаються три компоненти забруднення із значеннями концентрацій \bar{C}_i ($i=1, 2, 3$), усередненими за площами $S_{Гр_i}$ ($i=1, 2, 3$), що обмежені межами відповідно $Гр_i$ ($i=1, 2, 3$)

$$\bar{C}_i = \frac{\iint_{S_{Гр_i}} C_i(x, y) dS}{S_{Гр_i}}, \quad i = 1, 2, 3,$$

та відповідним чином усередненими фоновими значеннями цих забруднень $\bar{C}_{фон_i}$.

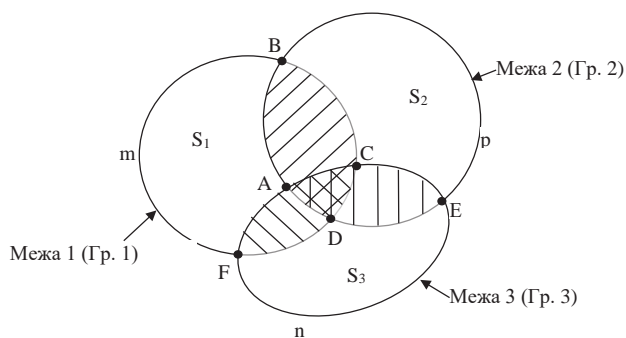


Рис. 1. Пояснення алгоритму обчислення індексу забруднення території, обмеженої дугами $\cup BmF, \cup FnE, \cup EpB$: $S_{1,2,3}$ – площі, вільні від штриховки

Беручи до уваги гіпотези про парціальну (сепарабельну) та неселективну дію кожної окремої компоненти забруднення на біотопи наземної екосистеми РТО, обчислюємо спочатку часткові індекси забруднення на відповідних територіях:

$$I_{S_i} = \begin{cases} 1 - \frac{\bar{C}_{фон_i}}{\bar{C}_i} \in (0, 1), \forall \bar{C}_i > \bar{C}_{фон_i} > 0; \\ 0, \forall \bar{C}_i \leq \bar{C}_{фон_i}, \end{cases}$$

де I_{S_i} – індекс забруднення території, що позначена S_i (див рис.1), який показує частку перевищення над фоновим рівнем в кожній одиниці середньої концентрації забруднення, $i = 1, 2, 3$.

Після цього обчислюємо індекси багатокомпонентного забруднення:

$$I_{ABC} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_1} + \bar{C}_{\phi_2}}{\bar{C}_1 + \bar{C}_2} \in (0, 1);$$

$$I_{FAD} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_1} + \bar{C}_{\phi_3}}{\bar{C}_1 + \bar{C}_3} \in (0, 1);$$

$$I_{DCE} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_2} + \bar{C}_{\phi_3}}{\bar{C}_2 + \bar{C}_3} \in (0, 1);$$

$$I_{DAC} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_1} + \bar{C}_{\phi_2} + \bar{C}_{\phi_3}}{\bar{C}_1 + \bar{C}_2 + \bar{C}_3} \in (0, 1),$$

якщо підсилюючої (послаблюючої) дії забруднень на заштрихованих територіях не відбувається.

Якщо має місце взаємодія забруднень, то вважаємо, що на цих ділянках території РТО діє нове забруднення, для якого виконуємо всі вищезазначені обчислення для формування часткового індексу.

Узагальнений індекс забруднення території, обмеженої дугами $\cup BmF, \cup FnE, \cup EpB$ (див. рис.1) обчислено за виразом:

$$I = \left(\frac{S_1}{S_0}\right) I_{S_1} + \left(\frac{S_2}{S_0}\right) I_{S_2} + \left(\frac{S_3}{S_0}\right) I_{S_3} + \left(\frac{S_{ABC}}{S_0}\right) I_{S_{ABC}} + \left(\frac{S_{FAD}}{S_0}\right) I_{S_{FAD}} + \left(\frac{S_{DCE}}{S_0}\right) I_{S_{DCE}} + \left(\frac{S_{DAC}}{S_0}\right) I_{S_{DAC}}, \quad (1)$$

де $S_0 = S_1 + S_2 + S_3 + S_{ABC} + S_{FAD} + S_{DCE} + S_{DAC}$

Висновок:

1) алгоритм обчислення I вважаємо алгоритмічним способом завдання функції забруднень [2-9, 30-33];

2) БСМ повинна надавати із заданою періодичністю інформацію, що дозволяє обчислити середні концентрації специфічних фонових та специфічних для даного РТО забруднень, а також інформації про просторове розташування (граніцю області забруднень) та величину забрудненої площі.

2. Процедура визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного

забезпечення алгоритмів моніторингу наземної екосистеми РТО, що побудована на основі визначення складу вектору їх забруднення. До складників вектору забруднення (ВЗ) Z входять концентрації речовин, які забруднюють повітряні, наземні, поверхневодні, ґрунтоводні, ґрунтові складники екосистеми [2]. Враховуючи специфіку функціонування РТО, розглянемо особливості формування ВЗ екосистеми РТО за відповідними середовищами.

Атмосферне середовище. Під якістю атмосферного середовища розуміють сукупність властивостей атмосфери, які визначають ступінь впливу фізичних, хімічних та біологічних факторів на людей, рослинний і тваринний світ, а також на матеріали, конструкції та навколишнє середовище в цілому [5; 6]. Викиди в атмосферу є основними джерелами наступного забруднення вод та ґрунтів в регіональному масштабі, а в ряді випадків і в глобальному. Забруднення атмосфери, яке виникає на РТО, за впливом на організм людини поділяється на фізичне та хімічне. На початок 1999 року було відомо близько 1 000 сполук, які можуть забруднювати атмосферне повітря, у 2003 році – 1 300 сполук, а у 2020 році біля 2 000. Тобто постійно з'являються нові, раніше невідомі сполуки і тому перелік речовин, зміст яких у повітрі нормується, постійно поповнюється. Близько 141 речовин (хімічних сполук) визначено як найбільш ймовірні забруднюючі речовини для атмосферного повітря України. Характерними для функціонування РТО є 80 забруднюючих речовин.

Водне середовище. Під дією забруднення на РТО перебувають поверхневі та ґрунтові води. Поверхневі води РТО – прісні води, які стікають з території РТО струмками в озера, річки та болота або протікають територією РТО. Частина води під впливом сили ваги переміщається всередину землі РТО і заповнює пори і тріщини в шарах піску, гравію і піщанику. Зона, у якій водою заповнені всі пори, називається зоною *насичення*. Водопроникні, насичені водою відкладення називаються водоносними горизонтами, а вода, що знаходиться в них, – ґрунтовою водою. Поверхневі та ґрунтові води розрізняються за способами розповсюдження, методами спостереження за їх станом, процесами поширення забруднюючих речовин тощо. Носіями забруднюючих речовин на РТО є поверхневий стік з забруднених територій, осадження з атмосфери та атмосферні опади. Джерела техногенного впливу можуть призвести до механічного, фізичного, хімічного та біологічного забруднення водного середовища.

Водоймища, що знаходяться на території РТО, відповідно до Водного кодексу України належать до загальних водних об'єктів і оцінюються за екологічними нормативами якості води. Нормативну базу оцінки якості води складають загальні вимоги до складу і властивостей води та значення концентрацій забруднюючих речовин у воді. Щороку у водних об'єктах знаходять 100–150 нових хімічних речовин [6, 7]. Близько 110 шкідливих речовин (хімічних сполук) визначено як найбільш ймовірні забруднюючі речовини для водного середовища України. Характерними для функціонування РТО виділено близько 70 забруднюючих речовин (хімічних сполук).

Ґрунт. На РТО гостро стоїть питання щодо забруднення ґрунтів, від яких значною мірою залежить рівень захворюваності особового складу технічних підрозділів, населення, яке проживає поблизу, а також задоволення потреб населення у якісних харчових продуктах. Оцінка ступеня небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами проводиться по кожній речовині з обліком наступних загальних закономірностей – небезпека забруднення тим вище, чим: більше фактичний вміст компонентів забруднення ґрунту (C перевищує ГДК, що може бути виражено коефіцієнтом $K_0 = C/ГДК$, тобто небезпека забруднення тим вище, чим більше K_0 перевищує одиницю); вище клас небезпеки контрольованої речовини, її персистентність, розчинність у воді, рухливість у ґрунті і глибина забрудненого шару; менше буферна здатність ґрунту, яка залежить від механічного складу, вмісту органічної речовини, кислотності ґрунту. Чим нижче зміст гумусу, pH ґрунту і легше механічний склад, тим небезпечніше її забруднення хімічними речовинами. На РТО ґрунти піддаються забрудненню, яке можна підрозділити на механічне, хімічне та біологічне. На теперішній час існує приблизно 2 100 сполук, що забруднюють ґрунти. В статті враховано 97 шкідливих речовин, які є найбільш ймовірними для ґрунтів України. Характерними для процесу функціонування РТО є 62 забруднюючі речовини (хімічні сполуки).

Враховуючі вищенаведене, було розроблено процедуру визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного забезпечення алгоритмів моніторингу наземної екосистеми РТО (див. рис. 2). Результатом виконання процедури є інформація, яка необхідна для комплектування й оптимізації наборів ДПП для спостереження за станом забруднення наземної екосистеми РТО.

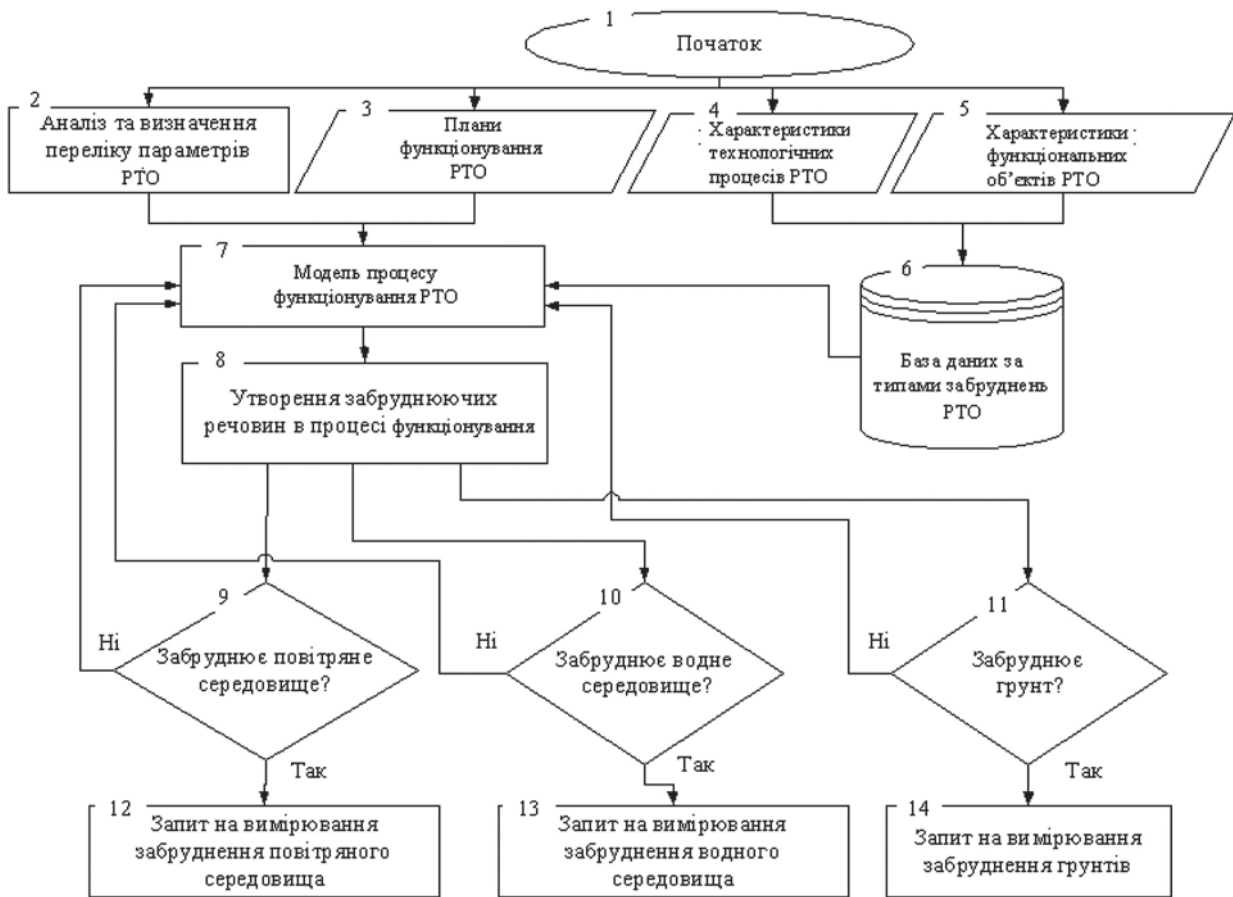


Рис. 2. Процедура визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) системи моніторингу забруднення наземної екосистеми розподіленого техногенного об'єкту (РТО)

Відповідно до зазначеної схеми (рис. 2) були отримані кількісні показники компонентів забруднення функціональних об'єктів РТО (табл. 1).

Таблиця 1
Кількість забруднюючих речовин по різних середовищам РТО

№ з/п	Вид середовища	Кількість забруднюючих речовин, шт., (% від кількості у регіоні)	
		у регіоні	на РТО
1.	Повітряне середовище	141	84 (60 %)
2.	Водне середовище	110	73 (66 %)
3.	Ґрунти (наземна екосистема)	97	62 (64 %)

Висновок: датчики первинної інформації (сенсори) безпроводової сенсорної мережі повинні дозволяти вимірювати специфічні забруднення, які властиві заходам функціонування РТО.

3. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової

сенсорної мережі (БСМ) завдяки побудові процедури визначення показників фоновому забрудненню наземної екосистеми РТО. Для обчислення індексу забруднення необхідно знати показники фоновому рівня забруднення наземної екосистеми РТО ($C_{фон}$) [3, 4].

Показники природного фону – це фізичні, хімічні та інші показники (концентрації), які характеризують незмінне людиною природне середовище (екосистему), відображають рівень відносно постійного (у межах природних багаторічних відхилень) впливу того чи іншого природного фактору та дозволяють давати кількісну оцінку ефектам впливу людини на навколишнє середовище та її окремі компоненти [7, 8]. В залежності від місця та часу фон може бути: глобальний заповідний ($C_{фон}^{glob}$), регіональний заповідний ($C_{фон}^{reg}$), реальний ($C_{фон}^{real}$), екорезерваційний ($C_{фон}^{reserv}$) або фоновий рівень забруднення екологічного ядра функціонального об'єкту ($C_{фон}^{core}$). В залежності від застосованого виду фону буде змінюватися змістовий зміст отриманих результатів.

Кількісна характеристика глобального заповідного фону ($C_{фон}^{glob}(x)$) – це значення фонового рівня забруднення екосистеми, яка не зазнала антропогенного впливу людської діяльності – фон «недоторканої природи». Величина глобального фонового рівня концентрації речовини x ($C_{фон}^{glob}(x)$) є постійною і зумовлена геолого-геоморфологічними характеристиками відповідного регіону. Її значення є величиною, що визначається шляхом геологічних досліджень.

Для оцінки зміни екологічного стану екосистеми РТО, яка (зміна) пов'язана з діяльністю людини взагалі, необхідно порівняти стан, що існує на даний час, з екологічним станом «недоторканої природи», тобто з глобальним заповідним фоном.

Кількісна характеристика регіонального заповідного фону ($C_{фон}^{reg}(x)$) – це значення фонового рівня забруднення екосистеми, яка не належить до РТО, але має з нею ідентичні геолого-геоморфологічні характеристики. Величина регіонального заповідного фонового рівня концентрації речовини x ($C_{фон}^{reg}(x)$) є змінною в часі величиною, тобто залежить від моменту часу t ($C_{фон}^{reg}(x(t))$), і залежить від виду й інтенсивності техногенної діяльності у регіоні та геолого-геоморфологічних і кліматичних характеристик. Її значення визначається шляхом вимірів та розрахунків у глобальній системі моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС), яка отримала визнання на Стокгольмській конференції ООН у 1972 р. ГСМНС функціонує під егідою Ради керівників Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) та охоплює Земну кулю в цілому [9].

Визначення регіонального заповідного фону проводиться у заповідниках та на заповідних територіях відповідного регіону. Порівняння існуючого рівня забруднення з регіональним заповідним фоном дає можливість оцінити зміну стану екосистеми під впливом, що зумовлений діяльністю РТО.

Для оцінки зміни стану екосистеми РТО під впливом процесу функціонування РТО за певний проміжок часу існуючий рівень забруднення необхідно порівнювати з внутрішнім фоновим рівнем забруднення екосистеми РТО. Згідно з раніше наданою класифікацією внутрішній фоновий рівень забруднення може бути реальним, екорезерваційним та фоновим рівнем забруднення екологічного ядра функціонального об'єкта РТО.

Кількісна характеристика реального фону ($C_{фон}^{real}(x(t))$) – це значення фонового рівня забруднення екосистеми РТО речовиною x на поточний

момент часу. Величина фонового рівня забруднення екосистеми речовиною x зумовлена: видом та інтенсивністю функціонування РТО; проміжком часу існування РТО; здатністю екосистеми до самовідновлення; проведенням реабілітаційних робіт. Порівняння існуючого рівня забруднення з реальним фоном дає можливість оцінити зміну стану екосистеми під впливом заходів випробувань за певний проміжок часу.

Кількісна характеристика екорезерваційного фону ($C_{фон}^{reserv}(x(t))$) – це значення фонового рівня забруднення екологічно чистої екосистеми РТО (екорезервації). Величина фонового рівня концентрації речовини x зумовлена: видом та інтенсивністю функціонування РТО; проміжком часу існування РТО; здатністю екосистеми до самовідновлення; захищеністю екорезервацій від техногенних впливів процесу функціонування РТО.

Кількісна характеристика фону екологічного ядра функціонального об'єкта ($C_{фон}^{core}(x(t))$) – значення концентрації забруднення екосистеми функціонального об'єкта в характерній точці, яка, на думку експертів, найбільш точно відображає стан забруднення функціонального об'єкта речовиною « x » на початок проведення випробувань. Величина фонового рівня концентрації речовини x залежить: від виду та інтенсивності функціонування РТО; часу існування функціонального об'єкта, зокрема і РТО взагалі; здатності екосистеми до самовідновлення; регулярності проведення реабілітаційних робіт. Значення фону в екологічному ядрі функціонального об'єкта може перевищувати значення ГДК. Порівняння існуючого рівня забруднення з фоном екологічного ядра характеризує стан екосистеми, що склався саме під техногенним впливом функціонування РТО за певний проміжок часу (в залежності від моменту часу, коли був визначений фон).

В існуючих індексах забруднення використовувались регіональний заповідний або реальний фон. Для РТО, де важливо оцінити зміну стану екосистеми функціонального об'єкта за певний проміжок часу, будемо використовувати фон екологічного ядра функціонального об'єкта.

Необхідно зауважити, що кількісні характеристики регіонального заповідного $C_{фон}^{reg}$, реального $C_{фон}^{real}$, екорезерваційного $C_{фон}^{reserv}$ та фонового рівня забруднення екологічного ядра функціонального об'єкта $C_{фон}^{core}$ є величинами не стаціонарними, тобто залежать від моменту часу. Для визначення цих величин необхідно мати комплект датчиків первинної інформації, що забезпечує неперервне в часі спостереження. Перелік речовин, що підля-

гають контролю, визначається в результаті аналізу заходів техногенної діяльності РТО, що відбуваються на відповідній території (функціональній зоні). За необхідності контролю трансграничних переносів забруднюючих речовин, до переліку речовин, що підлягають контролю, додаються також ті, поява яких очікуються. Їх перелік формується шляхом аналізу антропогенної діяльності у регіоні з урахуванням моделей поширення забруднюючих речовин, кліматоутворюючих факторів та фізико-географічних характеристик регіону тощо.

Враховуючи вищенаведене, була розроблена процедура визначення фонових забруднень наземної екосистеми РТО, структура якої представлена на рис. 3. Процедура створення бази даних щодо оптимальних за критеріями точності вимірювання (блок 17) і вартості (блок 18) комплектів датчиків первинної інформації (сенсорів стаціонарних

або мобільних) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) та варіантів розташування ДПІ БСМ на території РТО (блок 19), буде розглянуто далі (див. рис.4).

Висновок: датчики первинної інформації (сенсори) безпроводової сенсорної мережі повинні дозволяти вимірювати величини, що дозволяють обчислити кількісні показники фонових забруднень наземної екосистеми РТО.

4. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) на основі аналізу інформації про гранично допустимі показники забруднення. Для визначення допустимих рівнів антропогенного впливу проводиться екологічне нормування якості екосистеми. В його основі та в якості кількісної міри припустимого екологічного навантаження використовуються гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин.

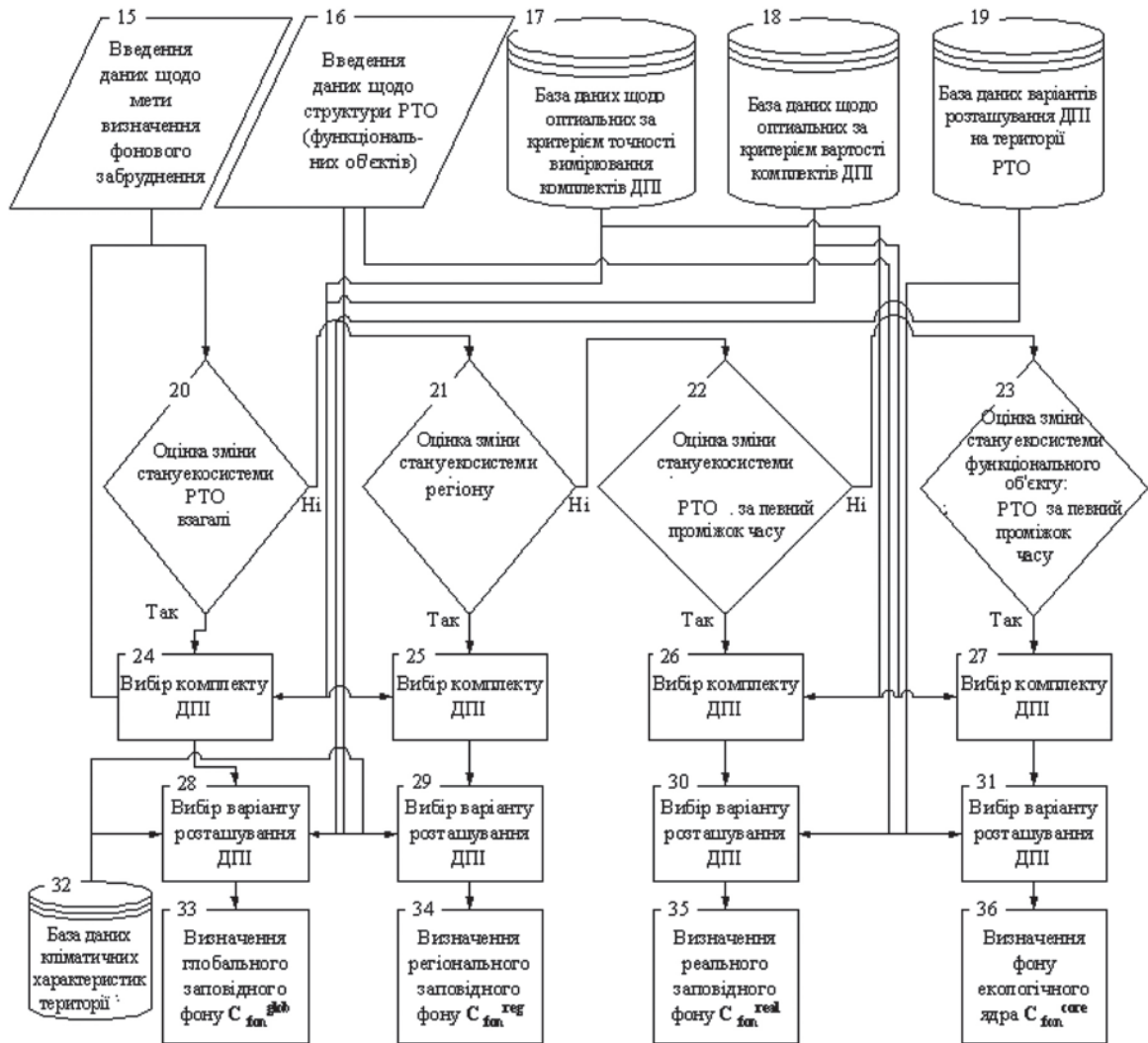


Рис. 3. Структура процедури визначення фонових забруднень наземної екосистеми розподіленого техногенного об'єкту (РТО)

Гранично допустима концентрація – норматив, який встановлює максимальну концентрацію шкідливої речовини в одиниці об'єму (повітря, води), маси (грунту) або поверхні (шкіра робітника), яка при впливі за певний проміжок часу або протягом усього життя людини не має прямого або побічного шкідливого впливу на організм та довкілля і не викликає несприятливі наслідки у його нащадків [6]. ГДК обґрунтовуються з огляду на санітарно-гігієнічні міркування.

Усі зазначені норми і розробки стосуються гранично допустимих рівнів впливу на людину. Встановлення меж допустимого впливу на популяції тварин і рослин, що формують екосистеми, почато порівняно недавно. На цей час вироблені і встановлені ГДК для рибогосподарських водойм – для популяцій риб, що мають промислове значення, ведеться обґрунтування ГДК для інших гідробіонтів. Ці ГДК визначаються в основному по токсикологічній ознаці шкідливості на рівні організмів і популяцій. При цьому токсичною вважається така концентрація забруднюючих речовин, за якої відносні (у порівнянні з контрольними дослідями) показники виживання, плідності, росту і біопродукування знижуються більш ніж на 50%. Крайньою вважають концентрацію, за якої зниження значень зазначених показників не перевищує 50%, максимальною недіючою (передкрайньою) – за якої показники життєдіяльності гідробіонтів відхиляються не більше ніж на 25%.

Аналіз того, як змінюються з часом значення ГДК, свідчить про їхню відносність, вірніше – про відносність наших знань про безпеку або небезпеку тих чи інших речовин. Для речовин, про дію яких не накопичено достатньої інформації, можуть встановлюватися тимчасово допустимі концентрації (ТДК) – отримані розрахунковим шляхом нормативи, рекомендовані для використання терміном на 2–3 роки [2–14, 29–33].

Значення ГДК однієї і тієї ж речовини в різних середовищах різні.

Повітряне середовище. Основним критерієм встановлення нормативів ГДК для оцінки якості повітря є вплив забруднюючих домішок, що містяться у повітрі, на організм людини. Але якщо речовина чинить на довкілля шкідливий вплив в менших концентраціях, ніж на людину, то при нормуванні виходять з порогу дії цієї речовини на довкілля. Вплив речовин, для яких не встановлені ГДК, оцінюється за орієнтовано безпечним рівнем впливу забруднюючої атмосфери речовини. Це тимчасовий гігієнічний норматив, який встановлюється завдяки розрахункам.

У зв'язку з тим, що короточасні впливи шкідливих речовин, які неможливо визначити за запахом, можуть визвати функціональні зміни у корі головного мозку та в зоровому аналізаторі, були введені значення максимальних разових ГДК (ГДК_{мр}). З урахуванням імовірності тривалого впливу шкідливих речовин на організм людини були введені значення середньодобових ГДК (ГДК_{сд}) [2–14, 29–33].

ГДК_{мр} – головна характеристика небезпечності шкідливої речовини. Характеризує короточасний (20–30 хв.) вплив даної речовини на організм. Встановлена для попередження рефлекторної реакції у людини (відчуття запаху, світової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короточасному впливу атмосферних домішок. За цим нормативом оцінюються речовини, що мають запах або впливають на інші органи людини.

ГДК_{сд} – встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та іншого впливу речовини на організм людини. Речовини, що оцінюються за цим нормативом, мають здатність тимчасово або постійно накопичуватись в організмі людини.

Водне середовище. При рівні концентрації, який більше ГДК, вода вважається непридатною для конкретного виду водокористування. ГДК зазвичай задаються у вигляді конкретного значення концентрації [2–14, 29–3].

Ґрунти. Раніше був встановлений лише один норматив, який визначав допустимий рівень забруднення ґрунту шкідливими хімічними речовинами – ГДК для орного шару ґрунту. Принцип нормування вмісту хімічних сполук у ґрунті заснований на тому, що надходження їх до організму відбувається переважно через середовища, що контактують з ґрунтом.

Слід сказати, що величини ГДК не залежать ні від параметрів екосистеми, ні від параметрів об'єкту. Для їх визначення не потрібні вимірювачі, вони є постійними і беруться з нормативної документації.

Висновок: датчики первинної інформації (сенсори) безпроводової сенсорної мережі повинні дозволяти вимірювати величини, що дозволяють за необхідності проводити дослідження стосовно визначення кількісних показників гранично допустимих концентрацій забруднень наземної екосистеми РТО.

5. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) на основі запиту на інфор-

мацію про параметри розподіленого техногенного об'єкту. Під час моделювання стану наземної екосистеми потрібні вихідні дані щодо параметрів РТО, особливостей наземної екосистеми, виду та інтенсивності функціонування РТО. Індивідуальні дані для кожного РТО будуть різними, але основний набір базових даних є загальним (див. табл. 2). Цей набір можливо вважати загальноприйнятим для всіх РТО. Крім того, може бути сформований специфічний набір даних, що забезпечує додаткову інформацію для системи управління станом природного середовища РТО [2–14, 29–33].

Висновок. Параметри РТО можуть бути як змінними (змінні плани робіт та метеорологічні дані), так і постійними (геолого-геоморфологічні характеристики). Серед змінних є такі, інформація за якими отримується з зовнішніх організацій – метеорологічні заклади, геологорозвідувальні інститути тощо. Ця інформація отримується за запитом до відповідних організацій.

6. Процедури обґрунтування загальних вимог до апаратного забезпечення процесу збору інформації про забруднення наземної екосистеми РТО.

Для того щоб заходи охорони довкілля були ефективними, інформація про забруднення повинна бути повною і достовірною. Повнота інформації визначається числом контрольованих інгредієнтів, тривалістю спостережень, просторовим розташуванням ДПП та їх мобільністю [13–29]. Достовірність інформації досягається строгим дотриманням нормативних вимог, що забезпечують одержання репрезентативних даних, однорідністю інформації, повнотою спостережень, правильністю статистичної обробки і оцінки даних спостережень забруднення екосистеми, коректністю пояснення причин відсутності чи підвищення рівня забруднення і тенденції його зміни в часі і просторі, врахуванням метеорологічних умов переносу і розсіювання забруднення у регіоні розташування РТО [13–29]. Також ступінь достовірності отриманих результатів залежить від похибок засобів виміру і використовуваного методу виміру. Максимально допустима похибка виміру параметрів забруднення залежить від того, розпізнавання яких слабких, сильних чи надзвичайно сильних (впливових) екологічно несприятливих факторів необхідно виконати.

Критерієм достатності інформаційного масиву щодо об'єктивної оцінки стану забруднення екосистеми є показник інформаційної ємності, завдяки якому можливо сформулювати вимоги до способів та засобів вимірювання та контролю [13–29].

Так, наприклад, у місцях розташування складів, баз та арсеналів, функціональних об'єктів РТО у безпосередній близькості від населених пунктів доцільна організація стаціонарних постів, в інших – можливе застосування мобільних засобів і методів дистанційного контролю [9–14, 29]. В мобільному варіанті пункти виміру можуть визначатися в кожній конкретній ситуації в процесі формування робочого маршруту пересувної лабораторії з урахуванням графіку, видів та інтенсивності випробувань, метеорологічних умов тощо. При цьому мобільна лабораторія (із безпосереднім або дистанційним керуванням оператором) повинна комплектуватися засобами, які забезпечують вимір усіх видів забруднюючих речовин, характерних для даного функціонального об'єкту РТО. Мобільна лабораторія економічно більш ефективна порівняно із стаціонарною системою датчиків. Однак покладатися лише на мобільні комплекси отримання первинної інформації було б помилково. Зазвичай для обстеження об'єктів навколишнього середовища в середньому потрібно не менш двох-трьох днів [2–14, 29–33]. У цій ситуації істотно більш раціональною є система організації спостереження типу: автоматизований пробовідбір на об'єктах контролю й аналіз у стаціонарній лабораторії за допомогою комп'ютеризованих аналітичних комплексів [2–14, 29–33]. Така методологія визнана в усьому світі як найбільш раціональна [16]. Звичайно, під час контролю вузького кола компонентів забруднення перспективні пересувні і стаціонарні пости, оснащені, наприклад, хімічними сенсорами. Виходячи з цього, аналітичний комплекс контролю забруднення повинен мати у своєму складі розвинуту, уніфіковану систему автономних і стандартизованих пробовідбірних пристроїв рідких, твердих і газоподібних середовищ. Таким чином, до апаратного забезпечення процесу збору інформації про забруднення належить задача створення комплексу пристроїв, що забезпечують, крім добору проб, їхнє транспортування, перетворення фаз і введення в аналізатор без перевантажень, тобто в тій «тарі», у якій вони були відібрані.

Для підвищення достовірності спостережень стану забруднення екосистеми РТО повинні використовуватися методи ДЗЗ побудовані на різних фізичних принципах [17–24].

Нормативними документами в сфері забезпечення єдності вимірів пред'являються жорсткі вимоги до засобів виміру, що застосовуються під час еколого-аналітичних робіт.

Перелік параметрів розподіленого техногенного об'єкту, що підлягають обліку та сенсоризації («розумний» розподілений техногенний об'єкт): у стовпці «Тип даних» «В» означає векторні дані, «Р» – растрові, «С» – просторові, «Т» – табличні; у стовпці «Вид даних» «О» означає основні дані, «Д» – додаткові, «П» – змінні, «К» – постійні.

Вид параметрів	Тип даних	Вид даних	Службова приналежність безпроводової сенсорної мережі		
			Розподілений техногенний об'єкт	Метеорологічна служба регіону	Геологічна служба регіону
Загальні дані:					
Призначення РТО	Т	О/К	+		
Історія використання РТО	Т	О/К	+		
Характеристика функціональних завдань, що виконувалися протягом часу існування РТО	Т	О/К	+		
Фізико-географічні характеристики району розташування РТО	Т	О/К			+
Загальна площа РТО	Т	О/К	+		+
Площі функціональних об'єктів	Т	О/К	+		+
Геолого-геоморфологічні характеристики території: ландшафт, рельєф, реперні точки	В	О/К			+
Аерофотозйомки	Р	О/П		+	+
Супутникові знімки	Р	Д/П		+	
Контурні лінії	В	О/К			+
Карти висот	Р	О/К	+	+	+
Території історичної цінності	В	Д/К			+
Межі (границі) охоронної зони РТО	В	О/К	+		+
Адміністративні межі	В	Д/К	+	+	+
Зони відпочинку	В/Т	Д/К	+		+
Кліматично-метеорологічні характеристики території РТО, в тому числі і небезпечні погодні явища	Т	О/П		+	
Гідрологія: ріки / струмки, озера, болота, глибина водоносного горизонту	В	О/К			+
Дані щодо агресивної техногенної діяльності:					
Вид функціональних об'єктів РТО	Т	О/К	+		
Кількість функціональних об'єктів РТО	Т	О/К	+		
План функціонування: вид, об'єм, інтенсивність	В	О/П	+		
Надзвичайні події на РТО	В	Д/П	+		
- дата	Т				
- тип	Т				
- короткий опис	Т				
Зони зберігання техногенно небезпечних матеріалів та відходів виробництва	В	Д/К	+		
- місткість	Т				
- умови зберігання					
Полігони на території РТО	С	О/К	+		
Обмеження щодо агресивної техногенної діяльності: зони заборони земляних робіт, обмеження за шумом, піротехнічного обмеження, обмеження щодо маскувannya	В	О/П	+		
Укріплені позиції щодо запобігання впливу природних стихійних лих	В	О/К	+		
Позиції для техніки локалізації аварій	В/Т	О/К	+		
Зони впливу на природне середовище (не придатні для іншого використання)	В	О/К	+		+
Зони впливу на природне середовище (придатні для іншого використання)	В	О/К	+		+

Вид параметрів	Тип даних	Вид даних	Службова приналежність безпроводової сенсорної мережі		
			Розподілений техногенний об'єкт	Метеорологічна служба регіону	Геологічна служба регіону
Джерела питної води	В	Д/К			+
Споруди та обладнання РТО спеціалізованого призначення	Т	О/К	+		
- категорія споруд (обладнання)					
Конфігурація функціональних об'єктів		О/К	+		
- межі функціонування	С				
- зони безпеки	В				
Конфігурація допоміжних об'єктів		О/К	+		
- межі функціонування	С				
- зони безпеки	В				
Місця збору сміття	Т/С	Д/К	+		+
Межі зони проведення натурних випробувань на суходолі	В	О/К	+		
Зони проведення натурних випробувань на воді	В	О/К	+		
- обмеження	Т				
- глибина	Т				
- течія	Т				
Громадські споруди:					
Кар'єри	В	Д/К			+
Архітектурні плани будівель	Т	Д/К			+
Зони підтоплення	В	Д/К			+
Місця збору сміття	С	Д/К			+
Комунальні спорудження		Д/К			+
Колодязі (контрольні колодязі)	В	Д/К			+
Природоохоронні дані:					
Археологічні/Культурні місця	В	О/К			
Ділянки розчистки лісу	В/Т	Д/К			
Кладовища	В	О/К			
Зони ерозії	В/Т	О/П			
- спорудження контролю за ерозією					
Заповідники / Звіривництво / Зони полювання: види тварин, кількість мисливців, сезони полювання, здобич	Т	Д/К			
Розташування небезпечних речовин	В	Д/К	+		
- тип речовини	Т				
- кількість	Т				
- умови зберігання					
Вегетативний покрив	В	О/П			+
Історичний вегетативний покрив	В	Д/К			+

Насамперед засоби вимірів, що застосовуються з метою охорони екосистем, повинні мати сертифікат встановленого зразку, який діє строком не більш 5 років і після закінчення терміну його необхідно поновити [2–14, 29–33]. Інформація щодо засобів вимірів публікується в довідково-інформаційних виданнях Держстандарту або у відомчих виданнях.

Під час експлуатації засобів вимірів слід дотримуватися встановлених в технічних паспортах

засобів вимірів областей застосування – від цього залежить як довговічність роботи приладу або датчика, так і юридична обґрунтованість одержуваних за його допомогою результатів.

6.1. Процедура оптимізації комплексу технічного складника системи спостереження за станом екосистеми розподіленого техногенного об'єкту. Під технічним складником системи спостереження розуміються комплекти ДПІ, що розташовані за певною схемою і у визначений час прово-

дять вимірювання рівня забруднення екосистеми. На рис. 4 представлена структура процедури вибору, комплектування та оптимізації комплектів ДПІ для спостереження за станом екосистеми РТО. Дані 12, 13 та 14 отримуються в результаті виконання процедури визначення складу вектору забруднення наземних екосистем РТО (рис.2).

Для остаточного вибору ДПІ спостереження за станом екосистеми РТО потрібно виконати додатковий аналіз існуючого вітчизняного та зарубіжного обладнання за наступними ознаками:

1. Можливість підключення ДПІ до електронно-обчислювальної машини (чи є ДПІ цифровим);
2. Перелік речовин, що вимірюються;

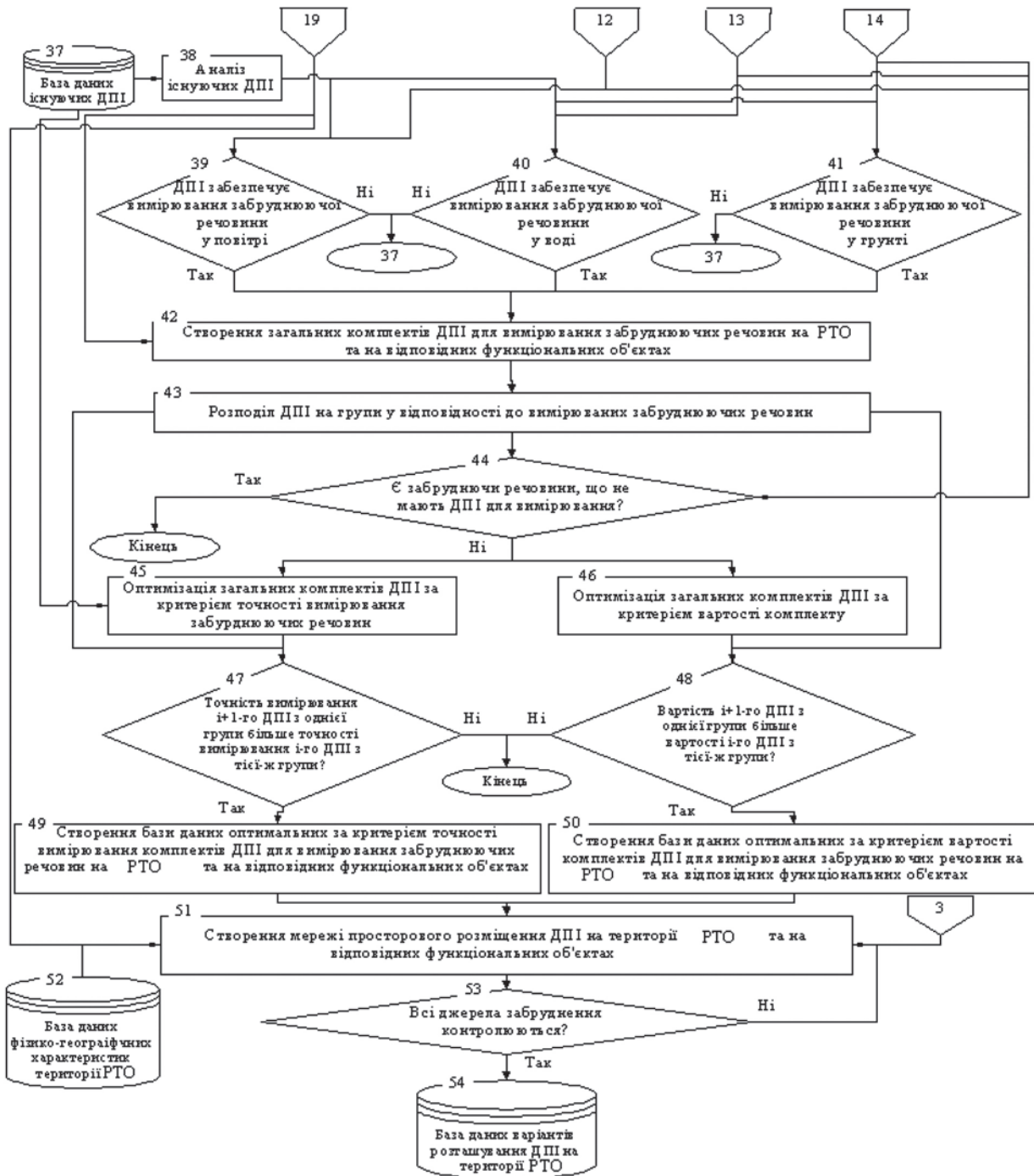


Рис. 4. Структура процедури вибору, комплектування та оптимізації комплектів датчиків первинної інформації:

12, 13, 14 – вихідні дані процедури вимірювання рівня забруднень (див. рис. 2); 19 – підключення до бази даних первинного розміщення сенсорів процедури визначення фонових забруднень (див. рис. 3)

3. Мінімальне значення величини забруднення, що виміряється;

4. Діапазон концентрацій забруднення, що виміряється;

5. Похибка вимірювання;

6. Управління ДПІ, вивід інформації;

7. Живлення;

8. Габаритні розміри та вага;

9. Мобільність;

10. Комплектуючі, що витрачаються;

11. Вартість;

12. Додаткові можливості;

13. Виробник обладнання.

6.2. Процедура визначення біотичного складника системи спостереження за станом екосистем розподілених техногенних об'єктів. Під біотичним складником системи спостереження розуміється набір біоіндикаторів, спостереження за якими надає інформацію щодо стану екосистем.

Головний принцип індикації забруднення екосистеми – взаємодоповнює діалектичне дослідження впливу та порушення. В результаті реалізації цього методологічного принципу всі індикатори поділені на дві великі групи: впливу та порушення. Індикаційний підхід застосовується у тих випадках, коли потрібно за обмежений інтервал часу отримати інформацію щодо стану середовища. Сутність індикаційного підходу полягає у визначенні стану однієї системи за станом інших систем, більш доступних для дослідження та вимірів. Системи, що досліджуються, і мають назву індикаторів [29-33].

Залежно від мети дослідження у якості індикаторів впливу та порушення широко використовуються самі природні комплекси, їх компоненти та елементи, на яких безпосередньо відображається забруднення. Для індикації використовуються також властивості компонентів і елементів: структура, розміри, хімічний склад і інше. Іноді присутність або відсутність індикатора є інформацією про процес, що вивчається. Особливий інтерес представляють індикатори, які містять багаторічну інформацію, в тому числі такі природні комплекси, як торф'яні болота, льодовики, дерева з великим абсолютним віком [29–32].

Фактори середовища досить строго визначають, які організми можуть жити в даному місці, а які не можуть. Враховуючи це, можна використати обернену закономірність і судити про фізичне середовище за організмом, який у ньому проживає [32]. Так з'явився метод біоіндикації середовища, який досить широко застосовується у країнах Європи.

Біоіндикація – це оцінка стану навколишнього середовища за допомогою живих об'єктів (кліток, організмів, популяцій) [32]. З її допомогою може проводитися оцінка як абіотичних факторів (температура, вологість, кислотність, солоність, зміст поллютантів тощо), так і біотичних (благополуччя організмів, їхніх популяцій і співтовариств).

На теперішній час метод біоіндикації широко використовують для оцінки забруднення екосистем, які «усувають» з природних екологічних ніш нестійкі до факторів забруднення види нижчих і вищих рослин, а також представників фауни [32].

Біоіндикатори – це біологічні об'єкти (від клітин та біологічних макромолекул до екосистем та біосфери), наявність, кількість або інтенсивність розвитку яких у тому чи іншому середовищі є показником певних природних процесів або умов навколишнього середовища. Їх обґрунтовують виходячи із швидкості, відповідності, надійності, простоти.

Біоіндикатори прийнято описувати за допомогою двох характеристик: специфічність і чутливість. При низькій специфічності біоіндикатор реагує на різні фактори, при високій – тільки на один.

Біоіндикація підрозділяється на фітоіндикацію та біотестування [32].

Фітоіндикація – використання рослин для оцінки якості середовища. Оскільки найбільший ефект дає використання рослинних співтовариств, то цей напрям одержав спеціальну назву – індикаційна геоботаніка. Фітоіндикація дозволяє проводити біоіндикацію в наземно-повітряному середовищі.

Біотестування – це метод інтегральної оцінки стану навколишнього природного середовища, який оснований на дії факторів середовища на організм, його окрему функцію, або систему організмів, та різницю між дослідом (середовищем, що вміщує токсиканти) та контролем (чисте середовище) за певним біологічним параметром, що вказує на повне або часткове пригнічення життєвих функцій тест-організмів. *Тест-організми* – це біоіндикатори (рослини та тварини). Для біотестування використовують одноклітинні зелені водорості (хлорела, требоуксія із лишайників), найпростіші (інфузорія-туфелька), членистоногі (рачки дафнії, артемія), мохи, квіткові (злак плевели, крес-салат).

Доцільність використання методів біоіндикації для еколого-геологічних обстежень зумовлена простотою та дешевизною визначення якості середовища, що дуже важливо на початкових етапах обстежень. Крім того, біоіндикація доцільна, коли

екологічний фактор неможливо заміряти (наприклад, відсутнє обладнання для контролювання певних забруднюючих речовин), або його можна заміряти, але важко інтерпретувати. Дані про концентрацію в навколишнім середовищі різних поллютантів (якщо їхня концентрація не поза межню висока) не містить відповіді на питання, наскільки ситуація небезпечна для живої природи. Показники гранично допустимої концентрації (ГДК) різних речовин розроблені лише для людини.

Обмеження методу біоіндикації полягає у тому, що для кожного регіону потрібно розробляти свої екогрупи організмів [32].

Останнім часом у якості індикаторів стану природного середовища використовуються птахи. Такий вибір пояснюється наступними чинниками:

- відкритий спосіб життя, що дозволяє надійно реєструвати зміни їхньої чисельності, поведінки тощо;

- широкий спектр харчування;
- чутливість до забруднення повітря, водойм;
- інформаційно ємна позиція в екосистемах.

Для оцінки індикаторів використовують такі показники, як частота їх зустрічаємості в екосистемі; контрастність розподілу в межах ландшафту, яка залежить від природних факторів; контрастність розподілу, що зумовлена техногенним фактором (градієнт впливу або порушення); природна та техногенна варіабельність властивостей індикаторів.

Очевидно, що природні індикатори, які займають значні площі, широко поширені у ландшафті, більше зручні для вивчення. Проте велике зна-

чення мають і приуроченість індикатора до певного типу екосистем, навіть при відносно малій площі поширення у ландшафті.

Висновок: метод біоіндикації має як переваги, так і недоліки. Доцільність використання цього методу в процесі збору інформації щодо стану екосистем визначається окремо у кожному конкретному випадку.

Висновки.

1. В статті викладено основні положення методології обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту (РТО).

2. Обґрунтовано структури основних процедур визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі, що забезпечують адекватне спостереження за станом наземної екосистеми РТО завдяки вимірюванню векторів поточного та фонового забруднень за умови оптимізації комплексу сенсорів, що для цього вимірювання використовуються.

3. Для всеохоплюючого інформаційного забезпечення процедур і алгоритмів екологічного моніторингу розподілених техногенних об'єктів слід використовувати безпроводові сенсорні мережі із стаціонарними та (або) мобільними мультисенсорами, що забезпечують спостереження за біотичними та абіотичними параметрами природного середовища РТО.

Список літератури:

1. Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Новіков В.І., Гуйда О.Г., Турейчук А.М., Сушин І.О. Методика обґрунтування вимог до безпроводових сенсорних мереж інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія «Технічні науки»: зб. наук. праць.* Одеса. Видавничий дім «Гельветика» Том 32 (71) № 6 2021. С. 33–43.
2. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев, Ю.Л. Забулонов, Ю.Є. Тищенко. Київ : Наук. думка, 2014. 328 с.
3. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар. Київ : Вид-во Нац. авіац. Ун-ту «НАУ – друк», 2009. 312 с.
4. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюнник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні : монографія. Харків : НУЦЗУ, 2016. 319 с.
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. Київ : «Наукова думка» НАН України, 2008. 542 с.
6. Биченок М.М., С.П. Іванюта, С.О. Яковлев. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. Ін-т пробл. Нац. Безпеки Ради нац. Безпеки і оборони України. Київ : 2008. 160 с.
7. Окружающая среда: Энциклопедический словарь. Справочник : Пер. с нем. Москва : Прогресс, 1993. 640 с.
8. Чумаченко С.М., Турейчук А.М., Слободяник В.А. Високоточне адаптивне оцінювання негативного впливу озброєння та військової техніки на навколишнє середовищею Збірник матеріалів нау-

ково-практичної конференції «Актуальні проблеми військової екології», 16–17 жовтня 2003 р. Київ : ННДЦ ОТ і ВБ України, 2003. С. 37–38.

9. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Москва : Гидрометеиздат, 1984. 560 с.

10. Богобожаний В.В., Курбанов К.Р., Палій П.Б., Шмандій В.М. Принципи моделювання та прогнозування в екології. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 216 с.

11. Экология города: Учебник. Под общей редакцией д.т.н., профессора Стольберга Ф.В. Київ : Либра, 2000. 464 с.

12. Мазур И.И. Курс инженерной экологии: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Высш. Шк., 2001. 510 с.: ил.

13. Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справ. пособие. Київ : Техника, 1987. 128 с.

14. Rautman C.A. and other. Probability mapping of contaminants, in Cost Efficient and Utilization of Data in the Management of Hazardous Waste Sites, Proceedings of International Speciality Conference, March 23-25, Air and Waste Management Association, Pittsburg, PA, pp. 353-361, 1994.

15. O. Lysenko, O. Tachinina. Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles. Proceedings of the National Aviation University. K: NAU, 2020. № 2(83). pp. 13-19. DOI: 10.18372/2306-1472.83.14629.

16. Romaniuk V. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV / V. Romaniuk, O. Lysenko, A. Romaniuk and O. Zhuk Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, no. 1. С. 102-107. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107>.

17. Anton V. Romaniuk, Valery A. Romaniuk, Myroslav Sparavalo, Olexandr I. Lysenko, Olexandr V. Zhuk. SYNTHESIS OF DATA COLLECTION METHODS BY TELECOMMUNICATION AERIAL PLATFORMS IN WIRELESS SENSORS NETWORKS. Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, no. 2. P. 63–73. URL: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/221266>.

18. Новіков В.І., Лисенко О.І., Валуйський С.В., Гуйда О.Г. Математичні моделі, методи та алгоритми оптимізації показників функціонування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами й телекомунікаційними аероплатформами. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 31 (70) № 3 2020. Частина 1, стор. 54–64.

19. 13. Лисенко О.І., Романюк В.А., Гуйда О.Г., Дворська С.В., Осинський А.К. Концептуальний підхід до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32 (71) № 1 2021. Частина 1, с. 10–16

20. Alekseeva I.V., Lysenko O.I., Tachinina O.M. NECESSARY OPTIMALITY CONDITIONS OF CONTROL OF STOCHASTIC COMPOUND DYNAMIC SYSTEM IN CASE OF FULL INFORMATION ABOUT STATE VECTOR// ISSN 1028-9763. *Математичні машини і системи*, 2020, № 4. С. 136–147.

21. Герасимов И.П. Научные основы мониторинга окружающей среды. Ленинград : Гидрометеиздат, 1987.

22. Савельева Е.А. Аналитический обзор методов анализа и оптимизация сети мониторинга *Препринт ИБРАЭ-2000-03*, Москва, ИБРАЭ, 2000, 39 р.

23. Lysenko, O.I., Tachinina, O.M., Ponomarenko, S.O., Alekseeva, I.V. Conceptual Proposals for the Creation of a Fully Reusable Light-class Aerospace System in Ukraine. IEEE 6th International Conference, «Methods and Systems of Navigation and Motion Control», Kyiv, Ukraine, October, 22-24, 2020). K.: NAU, 2020. pp. 85–88. Scopus

24. Lysenko, O.I., Tachinina, O.M., Yavisya, V.S., Alekseeva, I.V. Concept of Construction of Satellite Communication and Navigation System clear Space. IEEE 6th International Conference, “Methods and Systems of Navigation and Motion Control”, Kyiv, Ukraine, October, 22-24, 2020. Kyiv : NAU, 2020. pp. 110–113. Scopus

25. Tachinina, O., Lysenko, O., Alekseeva, I., Novikov, V.: Mathematical Modeling of Motion of Iron Bird Target Node of Security Data Management System Sensors. In: CEUR Workshop Proceedings, Vol-2711, 482-491. (2020). ISSN 1613-0073, Springer, (Scopus), <http://ceur-ws.org/Vol-2711/paper37.pdf>

26. Tachinina O., Lysenko O., Alekseeva I., Novikov V. Method for Designing Low-Orbit Clusters of Small Satellites Under Stochastic Disturbances. Lecture Notes in Networks and Systems, 2020, vol 188. P. 112–125. Springer, Scopus. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_10.

27. Lysenko Olexandr I. Feasibility reasoning of creating ultra-low orbit communication systems based on small satellites and method of their orbits designing/ Olexandr I. Lysenko, Miroslav K. Sparavalo, Olena M. Tachinina, Valerii S. Yavisya and Sergiy Ponomarenko // Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, no. 1. С. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.59-70>.

28. Явіся В.С., Лисенко О.І., Новіков В.І., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г. Системний техніко-еколого-економічний підхід до забезпечення глобального наносупутникового зв'язку та навігації. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 31 (70) № 5 2020. Частина 1, стор. 49-56.

29. Пономаренко С.О., Тачиніна О.М., Лисенко О.І., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г. Модель національної аерокосмічної системи розгортання глобальної сенсорної мережі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 31 (70) № 6. 2020. Частина 1. с. 21–26.

30. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. Москва : Издательство А.и Б, 1997. 296 с.

31. Шимова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономика природопользования: Учебник. Мн.: БГЭУ, 2001. 386 с.

32. Большаков В.Н., Корытин Н.С., Кряжмский Ф.В., Шишмарев В.М. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем. *Экология*. 1998. № 5. с. 339–348.

33. Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади. За ред. Созінова О.О., Придатко В.І. Книга 1. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2005. 384 с.

34. Кучерявий В.П. Екологія. Львів : Світ, 2000 500 с

Lysenko O.I., Tureychuk A.N., Guida O.G., Novikov V.I., Sushin I.O., Nidchenko I.A.
METHODOLOGY OF SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS TO THE COMPOSITION OF THE SENSORS OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK OF INFORMATION SUPPORT OF PROCEDURES AND ALGORITHMS OF THE SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF THE DISTRIBUTED MAN-CAUSED OBJECT

The article is devoted to the development of a methodology for substantiating the requirements for the composition of sensors of primary information (sensors) of the wireless sensor network of information support of procedures and algorithms of the environmental monitoring system of a distributed man-made object. The analysis of components of technogenic loading of types of activity of the distributed technogenic object on its terrestrial ecosystem is carried out and requirements to qualitative structure of a set of sensors of primary information which should provide are estimated: an estimation of an actual condition of ecosystem; identification of the component of anthropogenic influence of factors of functioning of the distributed technogenic object; ecosystem status forecast; forming proposals to the decision-maker on ecosystem management and environmental safety

The main methodological approach to the development of requirements for a set of wireless sensor network sensors is to clarify the model of input, in relation to the algorithm or procedure, information that provides appropriate calculations in order to monitor environmental pollution of distributed man-made objects

The article also defines the composition of the parameters of the distributed man-made object that must be taken into account when assessing and forecasting the state of the ecosystem and developed procedures to determine the composition of wireless sensor network sensors for: measuring the vector of terrestrial ecosystem pollution. The need to monitor the biotic component of the terrestrial ecosystem of a distributed man-made object is pointed out.

Key words: wireless sensor network, sensor, primary information sensor, distributed man-made object, environmental monitoring.