

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**БАХАРЄВ Володимир Сергійович**



УДК: 502.3:502.175:351.777(477)(043.3)

**КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ  
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ УРБОСИСТЕМ**

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Суми – 2018

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України.

**Науковий  
консультант**

доктор технічних наук, професор,  
**Шмандій Володимир Михайлович**,  
Кременчуцький національний університет імені  
Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки  
України, завідувач кафедри екологічної безпеки та  
організації природокористування

**Офіційні  
опоненти**

доктор технічних наук, професор,  
**Адаменко Ярослав Олегович**,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу Міністерства освіти і науки  
України, завідувач кафедри екології

доктор технічних наук, професор,  
**Петрук Василь Григорович**,  
Вінницький національний технічний університет  
Міністерства освіти і науки України, директор  
інституту екологічної безпеки та моніторингу  
довкілля

доктор технічних наук, доцент,  
**Гурець Лариса Леонідівна**,  
Сумський державний університет Міністерства освіти  
і науки України, доцент кафедри прикладної екології

Захист відбудеться «08» червня 2018 р. о 12<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html>.

Автореферат розісланий «30» квітня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблєєва

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність.** На сьогодні в Україні діє державна система моніторингу атмосферного повітря, суб'єкти якої сумлінно виконують поставлені перед ними завдання. Станом на кінець 2014 року Українським гідрометеорологічним центром Державної служби України з надзвичайних ситуацій здійснюються спостереження за забрудненням атмосферного повітря у 30 містах України на 125 стаціонарних постах спостережень. Між тим, питання недосконалостей в організації даної системи, технічному забезпеченні процесу спостережень, імплементації даної системи до вимог європейських директивних документів останнім часом стають усе більш актуальними. Особливого занепокоєння викликає стан системи оцінювання якості атмосферного повітря в техногенно навантажених урбанізованих регіонах. Це обумовлено рядом чинників: відсутністю концептуального підходу до організації спостережень та розробки завдань системи моніторингу, техноцентричністю діючих керівних документів в сфері контролю за якістю атмосферного повітря, неузгодженістю дій між суб'єктами системи спостережень, недостатньою інституціональною підтримкою прийняття управлінських рішень за результатами роботи системи спостережень. Частково це зумовлено тим, що в процесах реформування структури державної влади в Україні шляхом децентралізації все більшої ролі набувають аспекти забезпеченості оперативною інформацією про стан компонентів довкілля, саме на рівні техногенно навантажених урбосистем (муніципальному рівні). Адже у переважній більшості країн ЄС питання довкілля є сферою зобов'язань муніципальної влади. При цьому існування систем окремо державного і муніципального моніторингу довкілля закріплено в цих країнах на законодавчому рівні. Фактично, в Україні процеси децентралізації вже запущені і муніципальна влада, місцеві ради народних депутатів беруть на себе відповідальність перед громадою за стан компонентів довкілля в межах муніципалітету, територіального об'єднання. За таких умов створення дієвих муніципальних систем моніторингу, у тому числі атмосферного повітря, максимально інтегрованих із завданнями діючих суб'єктів державної системи є питанням найближчого майбутнього для нашої країни. Однак це потребує розробки нових та удосконалення існуючих підходів щодо організації систем екологічного моніторингу атмосферного повітря. Такі системи мають базуватись на принципах комплексного підходу до процесу обґрунтування, розробки та прийняття рішень з управління екологічною безпекою щодо забезпечення якості атмосферного повітря урбосистем.

Таким чином, удосконалення методологічного підходу до розробки структури систем муніципального екологічного моніторингу атмосферного повітря, що включають ряд підсистем, які у сукупності забезпечують комплексне розв'язання завдань управління екологічною безпекою є актуальною **науково-прикладною проблемою**, вирішенню якої присвячена дана дисертація.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до «Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року», затверджених Законом України від 21.12.2010 № 2818-VI; Директиви ЄС 2008/50/ЄС «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи»; «Концепції реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього середовища в Україні», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31.05.2017 № 616-р.; «Програми заходів (дій) з недопущення перевищення нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в м. Кременчуці», затвердженої рішенням XVII сесії Кременчуцької міської ради від 22.12.2016, автор є членом робочої групи з розробки програми та контролю за її реалізацією. А також – плану науково-дослідних робіт Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (КрНУ) та кафедри екологічної безпеки та організації природокористування (ЕБОП). В основу роботи покладено результати науково-дослідних робіт, у яких автор брав участь: як виконавець – «Наукові дослідження у галузі охорони і раціонального використання водних ресурсів, земель, тваринного світу, охорони атмосферного повітря, збереження природно-заповідного фонду, у сфері поводження з відходами з розробкою природоохоронних заходів для програми охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням пріоритетів міста Кременчука на 2016–2020 роки «ДОВКІЛЛЯ – 2020» (№ держреєстрації 0116u002299); як відповідальний виконавець – «Розробка програми постійного контролю та спостереження (моніторингу) за забрудненням атмосферного повітря в м. Кременчуці на відповідність вмісту забруднюючих речовин нормам ГДК, інтегровану з існуючою системою моніторингу лабораторії спостереження за забрудненням атмосферного повітря (ЛСЗА) м. Кременчука» (№ держреєстрації 0117u001768); як керівник – «Обґрунтування місць розташування стаціонарних постів спостереження за станом забруднення атмосферного повітря в м. Кременчуці для ведення екологічного моніторингу» (№ держреєстрації 0117u002522).

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* наукового дослідження є розробка комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем.

Для досягнення мети роботи поставлені такі **завдання**:

- провести аналіз функціонування сучасних систем екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні;
- розробити нові методологічні підходи щодо формування концепції екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем;
- обґрунтувати структуру комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем;
- розробити структуру інформаційно-аналітичної системи муніципального

моніторингу якості атмосферного повітря;

- розробити інформаційну технологію моніторингу та підтримки прийняття рішень з управління екологічною безпекою;

- розробити та практично реалізувати (на прикладі конкретної техногенно навантаженої урбосистеми) програму муніципального моніторингу якості атмосферного повітря.

*Об'єктом дослідження є:* комплекс процесів в системах екологічного моніторингу атмосферного повітря.

*Предметом дослідження є:* структурні елементи систем екологічного моніторингу атмосферного повітря техногенно навантажених урбосистем, що у сукупності забезпечують розробку ефективних управлінських рішень у сфері екологічної безпеки.

**Методи дослідження.** Теоретичну основу дисертаційного дослідження складають класичні методи наукового пізнання: аналіз інформації та наукове узагальнення – при формулюванні наукової проблеми. Практичну основу роботи формують такі методи: аналітичні – для оцінювання характеру розподілу забруднень атмосферного повітря в межах зон сельбищної забудови урбосистем; приладозабезпечені експериментальні – для оцінювання рівнів хімічного (інгредієнтного) та параметричного (шумового та електромагнітного) забруднення атмосферного повітря; розрахункові – для обґрунтування лінійних розмірів зон активного забруднення; статистичні – для обробки результатів експериментальних досліджень та аналізу бази даних звернень громадян. Також у роботі використано ряд спеціальних методів досліджень: методи кваліметрії та метод трикутника Фуллера – для оцінювання якості житлового середовища; системного аналізу – для постановки задач теоретичних досліджень, розробки теоретико-множинних моделей, інформаційної технології моніторингу; теорії нечіткої логіки та нечітких множин – для розробки моделей розпізнавання екологічно небезпечних ситуацій та підтримки прийняття рішень; математично-статистичні методи – для тестування моделі розпізнавання ситуацій тощо.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в такому:

- *вперше* створено наукові засади розробки комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем, взаємодія підсистем в межах якої забезпечує логічне поєднання особливостей їх функціонування з метою гарантування актуальності, достовірності та диференційованості моніторингової інформації, що є науковим підґрунтям для обґрунтування організаційно-управлінських рішень з екологічної безпеки;

- *вперше* науково обґрунтовано структуру інформаційно-аналітичної системи (ІАС) моніторингу якості атмосферного повітря на муніципальному рівні у складі якої виділені схеми функціональних взаємозв'язків підсистем попередження про несприятливі метеоумови, організації оперативних спостережень на основі аналізу звернень громадян, експертного оцінювання

поточних та оперативних даних моніторингу; деталізовано структуру блоку обробки запитів на інформацію та її візуалізації, що дозволить диференціювати результати роботи системи залежно від рівня доступу та авторизації користувачів, забезпечуючи при цьому повноту та доступність екологічної інформації;

– *вперше* на основі теоретичних узагальнень і результатів натурних досліджень встановлено доцільність організації незалежного експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря в системі екологічного моніторингу урбосистем за принципом «внутрішнє (житлове) – зовнішнє (навколишнє) середовище», що дозволяє встановити визначальні чинники екологічної небезпеки знівелювавши при цьому ефект суб'єктивності експертного оцінювання;

– *вперше* запропоновано теоретико-множинну модель інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні, що включає підсистеми моніторингу параметрів урбосистеми, підтримки прийняття рішень, інформаційний комплекс «база даних параметрів – база знань ситуацій» та дозволяє оперативно розпізнавати екологічно небезпечні ситуації та приймати адекватні рішення щодо їх корекції;

– *набули подальшого розвитку* теоретичні аспекти управління екологічною безпекою техногенно навантажених урбосистем шляхом створення інформаційних технологій моніторингу в умовах неповної визначеності ситуацій, що забезпечує інформаційно-технічну підтримку прийняття управлінських рішень;

– *набули подальшого розвитку* наукові уявлення щодо концепцій екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем, а саме запропоновано її структуру із виділенням блоку статичних та динамічних індикаторів, що дозволить в процесі побудови на цій основі стратегії не лише визначити терміни її реалізації, а й обґрунтовано встановити чисельні значення індикаторів ефективності роботи системи моніторингу;

– *удосконалено* методологію формування мережі стаціонарних постів моніторингу забруднення атмосфери населеного пункту із розробкою алгоритму визначення їх достатньої кількості та оптимальних місць розташування, що дозволить отримувати диференційовану інформацію за результатами спостережень і на цій основі визначати внесок конкретних джерел впливу у загальний рівень забруднення атмосферного повітря урбосистем.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

1. Розроблено інформаційну технологію моніторингу та підтримки прийняття рішень, що включає сукупність інформаційних процесів збору, обробки та передачі інформації в ІАС, практична реалізація якої дозволить підвищити ступінь обґрунтованості організаційних рішень з управління екологічною безпекою в сфері муніципального екологічного моніторингу.

2. Детальний аналіз бази даних звернень громадян з питань різкого погіршення якості атмосферного повітря дозволить обґрунтувати доцільність проведення оперативних моніторингових спостережень, а також використовувати їх у моделях розпізнавання ситуацій з метою генерації організаційних рішень з управління екологічною безпекою.

3. Практична реалізація одержаних на основі теоретичних узагальнень і результатів експериментальних досліджень закономірностей із встановлення розмірів зон активного забруднення довкола техногенних об'єктів та визначення їх внеску у формування загального рівня екологічної небезпеки, сформованої забрудненням атмосферного повітря, дозволить суттєво підвищити рівень аргументації управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки в межах урбосистем.

4. Розроблено функціональну схему взаємодії суб'єктів системи екологічного моніторингу за станом забруднення атмосферного повітря на рівні урбосистем, а також схему виконання програми постійного муніципального моніторингу, практична реалізація яких дозволить упорядкувати міжгалузеві взаємовідносини, забезпечити ефективність муніципального контролю за якістю атмосферного повітря, систематизувати результати та забезпечити організацію оперативних моніторингових спостережень.

5. Практична реалізація розробленого комплексу системних, оперативних та епізодичних спостережень у складі системи моніторингу забруднення атмосферного повітря із застосуванням пересувних екологічних лабораторій дозволить розробляти ефективні організаційні та управлінські рішення із забезпечення екологічної безпеки в техногенно навантажених урбосистемах.

Технічну новизну запропонованих у роботі рішень із розробки способу побудови мережі стаціонарних постів моніторингу забруднення атмосфери населеного пункту, визначення їх кількості та місць розташування підтверджено деклараційним патентом України на винахід (пат. № 119268).

Результати дисертаційних досліджень впроваджено в практичну роботу Комунального підприємства «Науковий центр еколого-соціальних досліджень» м. Кременчука з метою підвищення ефективності використання пересувної муніципальної екологічної лабораторії, що є на балансі підприємства (акт впровадження від 30.12.2016).

Розроблені у дисертаційній роботі схеми та програми реалізації комплексу спостережень за якістю атмосферного повітря використані відділом екологічної безпеки виконавчого комітету Кременчуцької міської ради Полтавської області (акт впровадження від 07.07.17). Розроблену «Програму постійного контролю та спостереження (моніторингу) за забрудненням атмосферного повітря в м. Кременчуці...» затверджено рішенням Виконавчого комітету Кременчуцької міської ради (копія №7 рішення №1159 від 30.10.2017).

Результати наукових досліджень використанні при викладанні лекційного матеріалу з дисципліни «Екологічний моніторинг забруднення довкілля» для здобувачів освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – «Екологія» на кафедрі ЕБОП Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, а також при проведенні аудиторних занять з дисципліни «Моніторинг довкілля» для студентів напряму підготовки «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» в КрНУ (акт впровадження від 06.02.17).

**Особистий внесок здобувача.** У дисертації узагальнені результати досліджень за період з 2008 по 2017 роки, в яких автор брав безпосередню участь. Особисто дисертанту належить формулювання наукової проблеми, мети й основних завдань досліджень, обґрунтування положень наукової новизни, встановлення практичної значимості результатів, формування загальних висновків. Автором проведений аналіз літературних джерел за темою дисертаційної роботи; обґрунтовані методи дослідження; проведено ряд розрахунково-експериментальних досліджень; здійснено обробку даних та їх аналіз; визначено причини недосконалості існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистем та запропоновано шляхи вдосконалення; розроблено структурно-логічну схему взаємодії підсистем в межах комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем; сформовано концепцію екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні; розроблено структуру ІАС муніципального моніторингу якості атмосферного повітря.

Внесок автора у роботи, які виконані у співавторстві, полягав: у формулюванні мети, обґрунтуванні напрямків досліджень, плануванні експериментальних досліджень і натурних спостережень, інтерпретації результатів, формулюванні висновків [2,3,5,6,13, 25–28]; участі у розробці теоретико-множинних моделей інформаційно-аналітичної системи, алгоритму інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття рішень [1]; розробці системи екологічного моніторингу щодо визначення впливу шуму та магнітних полів на біологічні тест-об'єкти [20]; постановці основних задач для експертних систем екологічного моніторингу та участі у розробці варіанту компонування експертної системи, формулюванні висновків [23]; науковому обґрунтуванні математичного методу для розрахунку ефективності зниження рівня аеродинамічного шуму газового потоку перфорованою пластиною [24]; розробці ієрархічної структурно-логічної схеми дії соціальних чинників забезпечення екологічної безпеки [29]. У колективній монографії [17] автору належить виконання підрозділів: 4.3, 4.6, 4.8 та 5. Під час оформлення патенту [45] автором проведено критичний аналіз відомих аналогів заявленого способу та сформульовано формулу винаходу.



У дисертації було також використано результати спільних робіт співавторів: Маренича А.В. (автор є науковим керівником) [7–12,15,16], тема дисертаційної роботи: «Розробка системи моніторингу атмосферного повітря урбосистем із застосуванням пересувних екологічних лабораторій» ([http://www.kdu.edu.ua/spec\\_rada/vidguk/diss\\_marenych.pdf](http://www.kdu.edu.ua/spec_rada/vidguk/diss_marenych.pdf)); Гільова В.В. [18,19], тема дисертаційної роботи «Експрес-оцінка стану екологічної безпеки примагістральних територій сельбищних зон» ([http://www.kdu.edu.ua/spec\\_rada/vidguk/DissHilyov.pdf](http://www.kdu.edu.ua/spec_rada/vidguk/DissHilyov.pdf)); Ткач Н.О. [21,22], тема дисертаційної роботи «Оцінка та прогнозування впливу автомобільного транспорту на стан шумового забруднення сельбищних територій» ([http://www.kdu.edu.ua/spec\\_rada/vidguk/dis\\_Tkach.pdf](http://www.kdu.edu.ua/spec_rada/vidguk/dis_Tkach.pdf)). В роботах у співавторстві з Гільовим В.В. та Ткач Н.О. автор брав участь у постановці завдань, плануванні експериментальних досліджень, обробці їх результатів, формулюванні висновків.

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові та практичні результати дисертаційних досліджень доповідалися та отримали позитивну оцінку на таких конференціях: XV, XIV, XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчук, 11–13 жовтня 2017 р., 12–14 жовтня 2016 р. та 06–08 жовтня 2015 р. відповідно); VI Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю «Екологія – 2017» (Вінниця, 20–22 вересня 2017 р.); XVII, XVI, XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки» (Кременчук, 01–03 червня 2017, 14–15 травня 2015 р., 29–30 вересня 2011 р. відповідно); XX Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта-наука-виробництво-2017» (Харків, 19–22 квітня 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації» (Івано-Франківськ, 22–25 березня 2017 р.); IV Міжнародній науковій конференції молодих учених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (Харків, 1–2 грудня 2017 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Архітектура та Екологія» (Київ, 31 жовтня – 01 листопада 2016 р.); IV Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 21–23 вересня 2016 р.); XVI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології» (Одеса, 05–07 жовтня 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (Харків, 04 грудня 2015 р. та 6 грудня 2013 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано в 45 наукових роботах, з яких: 1 монографія, 28 статей: 20 статей у фахових наукових виданнях України з технічних наук, 7 статей у закордонних наукових періодичних виданнях; 15 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях, 1

деклараційний патент України.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний текст із 45 таблицями та 85 рисунками викладено на 296 сторінках, список використаних джерел з 243 найменувань розміщено на 31 сторінці, 9 додатків – на 36 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 402 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, структуру й обсяг роботи тощо.

**Перший розділ** «Аналіз пріоритетних завдань сучасних систем екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні» присвячено аналітичному огляду сучасних концептуальних підходів, пріоритетних завдань та напрацьованих рішень щодо створення систем екологічного моніторингу, зокрема, на муніципальному рівні. Встановлено, що інноваційні платформи моніторингу довкілля мають будуватись на основі технологій обробки BigData із розширеним використанням хмарних високопродуктивних обчислень. При цьому наголошується, що великомасштабні системи моніторингу навколишнього середовища, раннього попередження та підтримки прийняття рішень повинні обробляти масивні потоки даних датчиків в реальному часі. На цій основі визначено ряд недоліків існуючої державної системи моніторингу довкілля в Україні з точки зору реалізації її завдань саме на рівні техногенно навантажених урбосистем (на муніципальному рівні). Встановлено, що основним недоліком існуючої системи моніторингу є недосконалість механізму підтримки прийняття обґрунтованих рекомендацій і рішень із забезпечення екологічної безпеки. На основі аналізу робіт таких вчених як: Шмандій В.М., Дмитриков В.П., Мокін В.Б., Трофимчук О.М., Мокрий В.І., Руденко С.В., Адаменко М.І., Адаменко Я.О., Яцишин А.В., Попов О.О., Варламов Є.М., F. Speiser, L. Silva, B. Mendes, W. Wardencki, J. Namieśnik, B. Balis, M. Bubak, Z. Zulkafli, Zhu Xiaomina та ін., сформульовано перелік пріоритетних завдань для сучасних систем екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем в Україні. Визначено основні тенденції щодо реалізації комплексів спостережень за станом забруднення атмосферного повітря урбосистем під дією фізичних чинників формування екологічної небезпеки, зокрема – шумового та електромагнітного забруднення.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу, сформульовано мету і задачі дослідження, обґрунтовано необхідність удосконалення методологічного підходу до розробки систем екологічного моніторингу атмосферного повітря саме на муніципальному рівні.

У другому розділі «Методологічні засади створення муніципальних систем екологічного моніторингу атмосферного повітря» представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень з обґрунтування нового концептуального методологічного підходу до розв'язання задачі вибору місць розташування постів відбору проб для оцінювання якості атмосферного повітря, як основи організації ефективної системи спостережень.

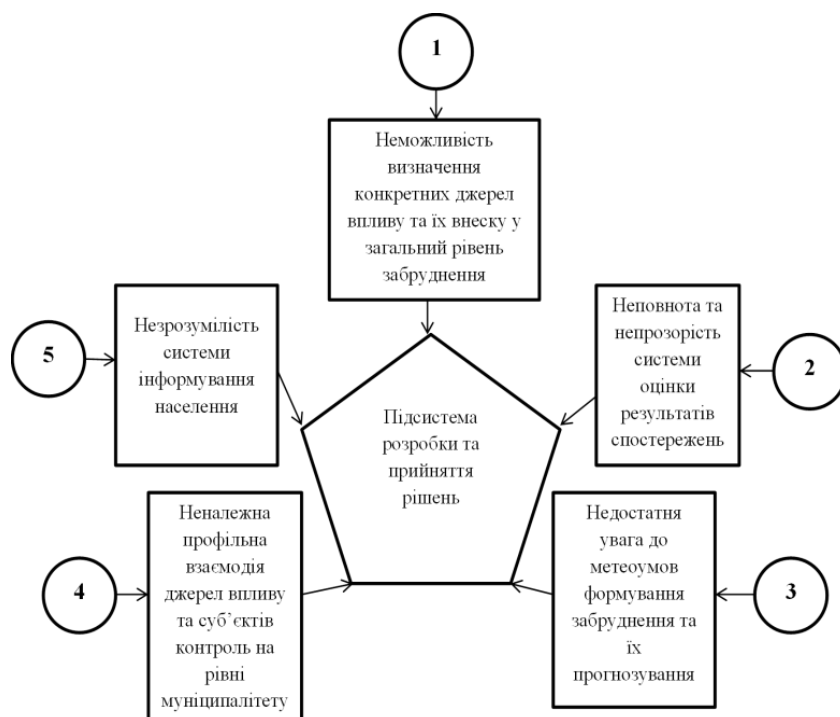
Аналітичним шляхом визначено відмінності в роботі систем державного та муніципального моніторингу якості атмосферного повітря. На цій основі встановлено п'ять основних причин недосконалості існуючої державної системи екологічного моніторингу на муніципальному рівні, а саме:

1. Відсутність диференціації постів спостережень за характером інформації, що одержується.
2. Відсутність належної експертної оцінки результатів спостережень.
3. Відсутність єдиного підходу до прогнозування метеоумов, що формують забруднення атмосферного повітря (МУЗ) та попередження об'єктів промисловості про настання небезпечних метеоумов (НМУ).
4. Відсутність структурованої бази даних системи моніторингу.
5. Відсутність широкого доступу громадськості до зрозумілих, усім верствам населення міста, результатів спостережень та їх аналізу.

Деструктивна дія вказаних причин має певні наслідки, що безпосередньо впливають на ефективність роботи підсистеми розробки та прийняття рішень діючої системи моніторингу. Схему наслідків дії визначених причин наведено на рис. 1.

За результатами теоретико-аналітичних досліджень щодо фактичних підходів до розробки та формування концепцій моніторингу, у тому числі в нашій країні, було розроблено базову структуру концепції екологічного моніторингу, яку представлено на рис. 2.

Запропонована структура концепції на



1-5 — причини недосконалості системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні.

Рисунок 1 – Схема впливу причин недосконалості системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на ефективність підсистеми розробки та прийняття управлінських рішень

відміну від існуючих доповнена рівнем концептуальних задач другого порядку, що представлені системою статичних і динамічних індикаторів, які з одного боку є показниками реалізації стратегічних задач, а з іншого – показниками ефективності організаційно-управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки в системі моніторингу.

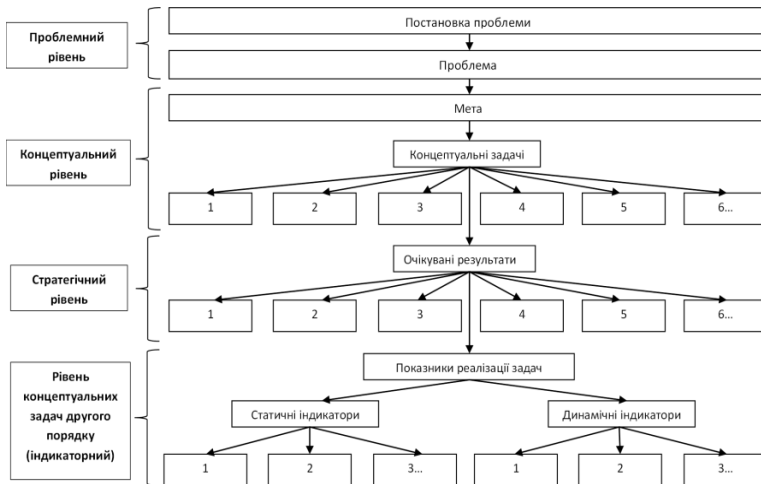


Рисунок 2 – Базова структура концепції екологічного моніторингу

Доведено доцільність виділення технічних і соціальних індикаторів, саме динаміка змін чисельних показників останніх забезпечує антропоцентричну спрямованість концептуального підходу до розробки систем екологічного моніторингу.

Виходячи з першої причини недосконалості (рис. 1), у якості основи методологічного підходу до організації системи спостережень, було

запропоновано здійснювати диференціацію постів спостережень з виділенням «міських фонових», «міських мережевих», «міських транспортних». Як теоретичний базис щодо диференціації постів у просторовому аспекті доведено необхідність реалізації поняття «Зона активного забруднення» (ЗАЗ), як території максимально можливого розсіювання забруднювачів із значимою концентрацією. Здійснено ряд аналітично-розрахункових і експериментальних досліджень з розробки експрес-методів оцінювання рівня інгредієнтного та шумового забруднення від промислових об'єктів і транспортних потоків у містах Дніпро та Кременчук для встановлення розмірів ЗАЗ.

Доведено, що лінійний розмір ЗАЗ від об'єктів промисловості визначається за формулою:

$$L_{\text{ЗАЗ}} = (40 \sim 50) h_{\text{max}}, \text{ м} \quad (1)$$

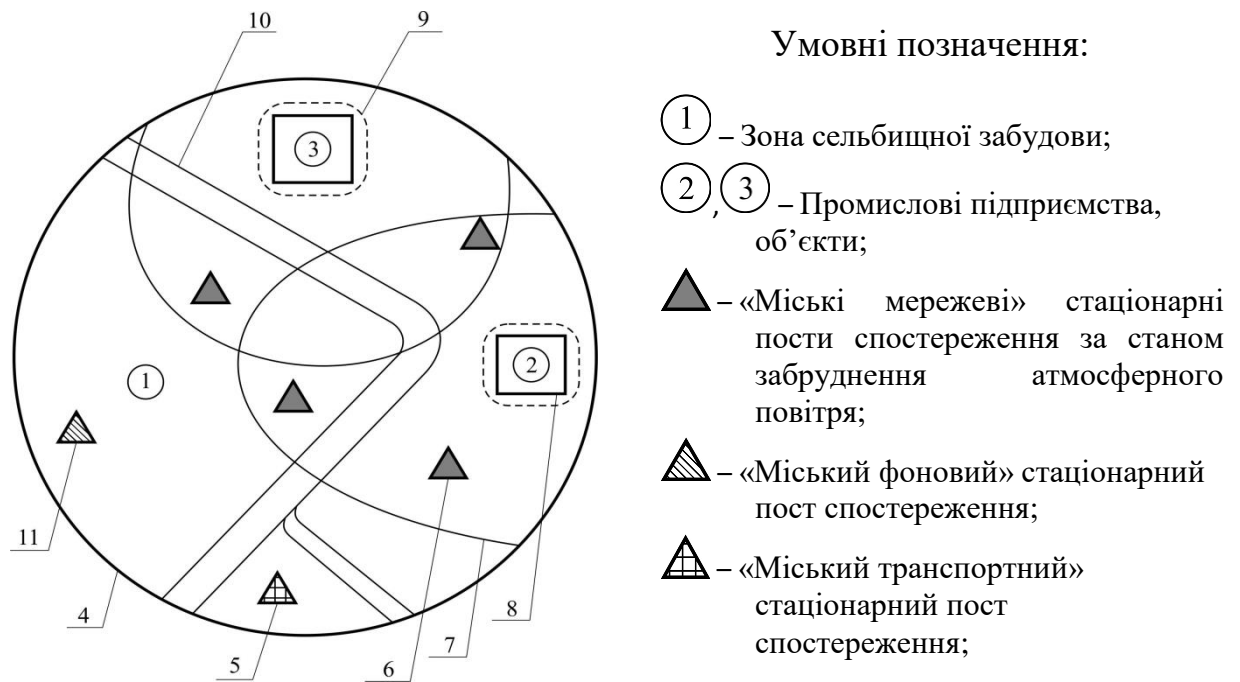
де  $L_{\text{ЗАЗ}}$  – розмір зони активного забруднення, м;  $h_{\text{max}}$  – висота найвищого джерела надходження забруднюючих речовин в атмосферне повітря на території промислового об'єкту, м.

Максимальний розмір ЗАЗ від автотранспортних джерел забруднення характеризується шириною зони від краю автомобільної дороги до точки де концентрація забруднюючих речовин (за концентрацією вуглецю(II)оксиду) не буде перевищувати  $0,05 \text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ . Таким чином, ширина ЗАЗ від автотранспортних потоків визначається за формулою:

$$X_{\text{ЗАЗ}}^{\text{max}} = \frac{0,5 \cdot CO_{\text{max}} - 0,15}{0,1}, \text{ м} \quad (2)$$

де  $CO_{\text{max}}$  – максимальна концентрація вуглецю(II)оксиду, одержана за результатами прямих лабораторних вимірювань на визначеній ділянці автомобільної дороги, не ближче ніж у 25 м до найближчого перехрестя доріг та не більше ніж 10 м від тротуару, в період максимальної пікової кількості автотранспорту, що рухається на даній ділянці автодороги.

На цій основі розроблено спосіб вибору місць розташування постів спостережень і визначення їх кількості. Схему розташування постів спостережень на основі диференційованого підходу наведено на рис. 3.



1 – зона сельбищної забудови; 2,3 – промислові об'єкти; 4 – адміністративна межа міської агломерації; 5 – «міський транспортний» стаціонарний пост спостереження за станом забруднення атмосферного повітря для визначення внеску транспорту в загальний рівень забруднення поза зонами активного забруднення промислових об'єктів; 6 – «міські мережеві» стаціонарні пости спостереження за станом забруднення атмосферного повітря; 7 – межі ЗАЗ; 8 – межі промислових об'єктів, вузлів 9 – межі санітарно-захисних зон (СЗЗ) промислових об'єктів; 10 – транспортні магістралі; 11 – «міський фоновий» стаціонарний пост спостереження за станом забруднення атмосферного повітря поза зонами активного забруднення промислових об'єктів і транспорту.

Рисунок 3 – Опис принципової схеми розташування постів моніторингу атмосферного повітря на урбанізованій території

Загальна кількість стаціонарних пунктів відбору проб для оцінки якості атмосферного повітря в межах населеного пункту визначається за формулою:

$$m = n + 2, \quad (3)$$

де  $m$  – загальна кількість стаціонарних постів спостережень, шт.;  $n$  – кількість стаціонарних постів спостережень залежно від кількості житлових районів міста,

що потрапляють в межі ЗАЗ промислових об'єктів I-III класів небезпеки, шт.\*; 2 – кількість обов'язкових постів спостережень.

З урахуванням вище зазначеного фактична концентрація певної забруднюючої речовини, одержана за результатами спостережень на стаціонарних постах, що відображає загальний рівень забруднення атмосферного повітря, формується таким чином:

$$C_{\text{факт}} = (C_{\text{фон}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{пр}}), \quad (4)$$

де  $C_{\text{фон}}$  – внесок у формування загального рівня забруднення різноманітних джерел формування поллютантів природного та антропогенного походження поза зонами активного забруднення промислових об'єктів (ЗАЗ) і транспорту, який визначається за формулою:

$$C_{\text{фон}} = C1_{\text{фон}}, \quad (5)$$

де  $C1_{\text{фон}}$  – значення концентрації забруднюючої речовини, одержане за результатами спостережень на «міському фоновому» стаціонарному пості мережі спостережень;  $C_{\text{тр}}$  – внесок транспорту у формування загального рівня забруднення, визначається за формулою:

$$C_{\text{тр}} = C1_{\text{тр}} - C1_{\text{фон}}, \quad (6)$$

де  $C1_{\text{тр}}$  – значення концентрації забруднюючої речовини, одержане за результатами спостережень на «міському транспортному» стаціонарному пості мережі спостережень, що має бути розміщений поза ЗАЗ промислових об'єктів;  $C_{\text{пр}}$  – внесок промислових об'єктів у формування загального рівня забруднення атмосферного повітря, визначається за формулою\*:

$$C_{\text{пр}} = C1_{\text{ЗАЗ}} - C1_{\text{фон}} - C1_{\text{тр}}, \quad (7)$$

де  $C1_{\text{ЗАЗ}}$  – значення концентрації забруднюючої речовини, одержане за результатами спостережень на «міському мережевому» стаціонарному пості, розташованому в межах ЗАЗ конкретного промислового об'єкта, вузла.

Примітка: \* – якщо промислові об'єкти розташовані поза межами ЗАЗ впливу транспортних джерел забруднення  $C_{\text{пр}}$  визначається за формулою:

$$C_{\text{пр}} = C1_{\text{ЗАЗ}} - C1_{\text{фон}}. \quad (8)$$

Таким чином, запропоновано спосіб побудови мережі постів моніторингу забруднення атмосфери населеного пункту, визначення їх кількості та місць розташування, реалізація якого дозволяє чітко встановити кількість стаціонарних постів спостережень на території населеного пункту без урахування кількості мешканців, а також, визначити місця розташування стаціонарних постів з одержанням диференційованої інформації: в зонах сельбищної забудови, що знаходяться в межах ЗАЗ промислових об'єктів I-III класів небезпеки, ЗАЗ потужних автотранспортних магістралей (доріг) та в зонах сельбищної забудови,

що розташовані поза ЗАЗ промислових об'єктів і транспорту. Одержана інформація мережі спостережень дозволить визначати внесок джерел екологічної небезпеки різного виду у загальний рівень забруднення атмосферного повітря міста (населеного пункту).

**Третій розділ «Структура комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем»** присвячено науковому обґрунтуванню структури комплексної системи екологічного моніторингу. Враховуючи той факт, що структура системи моніторингу має певний рівень ієрархічності та включає в себе підсистеми, які є окремими та цілком самостійними логічними її елементами, запропоновано систему екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні розглядати як комплексний об'єкт. Отже, комплексну систему екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистеми (на муніципальному рівні управління екологічною безпекою) представлено на рис. 4 у вигляді схеми взаємодії визначених в її межах підсистем.



Рисунок 4 – Структурно-логічна схема взаємодії підсистем в межах комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем

Комплексність системи забезпечує логічне поєднання служб-підсистем у частині взаємозв'язку результатів виконання завдань із загальною метою забезпечення населення достовірною та диференційованою інформацією про стан атмосферного повітря, а також – найголовніше – одержання чітких аргументованих підстав для прийняття організаційно-управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки.

Сформовано основні керуючі принципи для практичної реалізації розробленої системи. Особливу увагу приділено обґрунтуванню практичних аспектів реалізації завдань підсистеми незалежного експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря.

Осередок існування людини в урбосистемі представлено сферою, обмеженою житловим середовищем (внутрішнім) та навколишнім середовищем (зовнішнім). Отже, процедуру експертного оцінювання представлено двома етапами: 1) оцінювання рівня екологічної безпеки житлового середовища, 2) оцінювання рівня екологічної небезпеки (критичності ситуації), сформованої дією чинників навколишнього середовища.

Розроблено та апробовано методику оцінювання стану екологічної безпеки житлового середовища за якою визначається інтегральний показник рівня безпеки за відповідними групами чинників. Групи чинників якості житлового середовища представлено у таблиці 1. Межі оцінювання якості житлового середовища залежно від відхилення фактичного значення чинника від нормативу наведені у таблиці 2.

Таблиця 1 – Чинники екологічної безпеки житлових приміщень

Групи чинників				
Мікроклімат	Повітряне середовище	Освітлення	Фізичні фактори середовища	Естетичні фактори

Таблиця 2 – Межі оцінювання значення чинників екологічної безпеки житлового середовища

Категорія якості середовища	Бали	Значення чинника, % від нормативу	
		існуюче	перспективне
Повністю придатне (ПП)	4	більше 90 %	більше 100 %
Придатне (П)	3	70–90 %	90–100 %
Частково придатне (ЧП)	2	50–70 %	70–90 %
Непридатне (НП)	1	менше 50 %	менше 70 %

Для ранжування чинників небезпеки обрано метод часткового парного порівняння з використанням трикутників Фуллера. З розглянутої пари факторів, переважний, на думку експерта, чинник позначається оцінкою 1, а рівнозначні, з оцінюванням кожного чинника небезпеки, позначаються оцінкою 0,5. Значимість (вагу) чинника в загальній інтегральній оцінці характеризує сума оцінок.

Інтегральний показник рівня екологічної безпеки  $K$ , бал для кожної групи чинників, визначається за формулою:

$$K = \frac{2 \times \sum_{i=1}^n \delta_i \times \omega_i}{n \times (n-1)}, \quad (9)$$

де  $\delta_i$  – бальна оцінка  $i$ -го чинника;  $\omega_i$  – вагове значення  $i$ -го чинника;  $n$  – кількість



чинників у групі (категорії).

Обґрунтовано доцільність формалізації підходу до експертного оцінювання якості зовнішнього середовища з використанням моделювання на основі нечіткої логіки та нечітких множин. Експертна оцінка зводиться до розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації, коли вихідні моменти (цілі, дії тощо) задані нечітко, а переваги чітко визначені. Для вирішення завдання оптимізації в умовах якісної невизначеності описується функція корисності розглянутих дій/альтернатив:

$$\max\{U(z_1, z_2, \dots, z_k)\}, \quad (10)$$

де  $U$  – функція корисності;  $z_i = f_i(\text{належить } S)$ ,  $i=1,2,\dots,k$  – складові вектору критеріїв;  $S$  – множина допустимих рішень.

Таким чином, встановлено доцільність організації незалежного експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря в системі екологічного моніторингу урбосистем за принципом «внутрішнє (житлове) – зовнішнє (навколишнє) середовище».

**Четвертий розділ** «Інформаційно-аналітична система муніципального моніторингу якості атмосферного повітря» присвячено розробці структури інформаційно-аналітичної системи (ІАС) муніципального моніторингу якості атмосферного повітря та структури складових ІАС і підсистем комплексної системи моніторингу.

Враховуючи структуру комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистеми, а також, для визначення базової структури ІАС, розроблено структурно-функціональні схеми підсистем: прогнозування МУЗ та попередження про НМУ в структурі ІАС муніципального моніторингу (рис. 5); оцінювання результатів спостережень, оперативного реагування та короткострокового прогнозування змін (рис. 6); незалежного експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря (рис. 7).

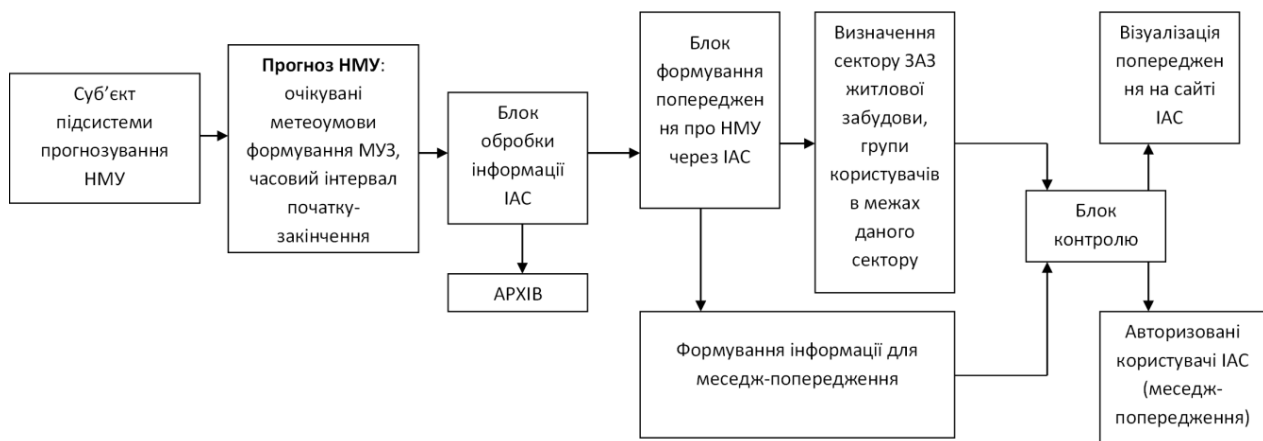


Рисунок 5 – Схема підсистеми прогнозування МУЗ та попередження про НМУ в структурі ІАС муніципального моніторингу

Особливу увагу приділено структурі ІАС у частині формування бази даних за результатами спостережень (рис. 8) та її структурі у частині роботи блока візуалізації даних (рис. 9).

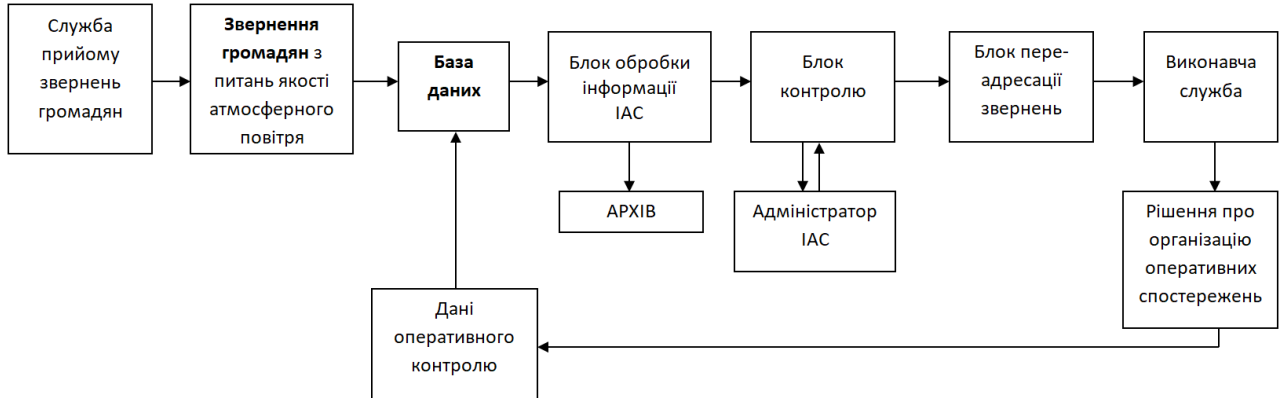


Рисунок 6 – Схема підсистеми оцінювання результатів спостережень, оперативного реагування та короткострокового прогнозування змін у частині організації оперативних спостережень на основі аналізу звернень громадян

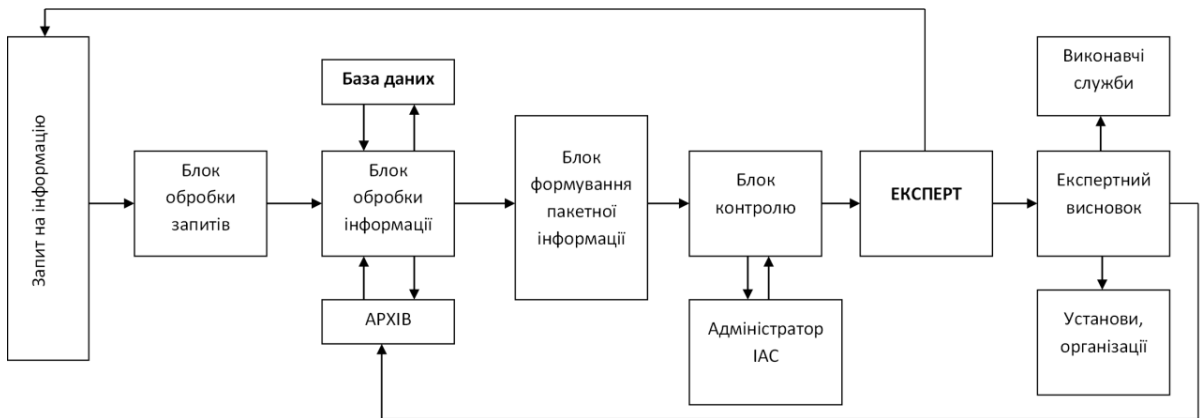


Рисунок 7 – Схема підсистеми незалежного експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря



Рисунок 8 – Структура ІАС у частині формування бази даних за результатами спостережень

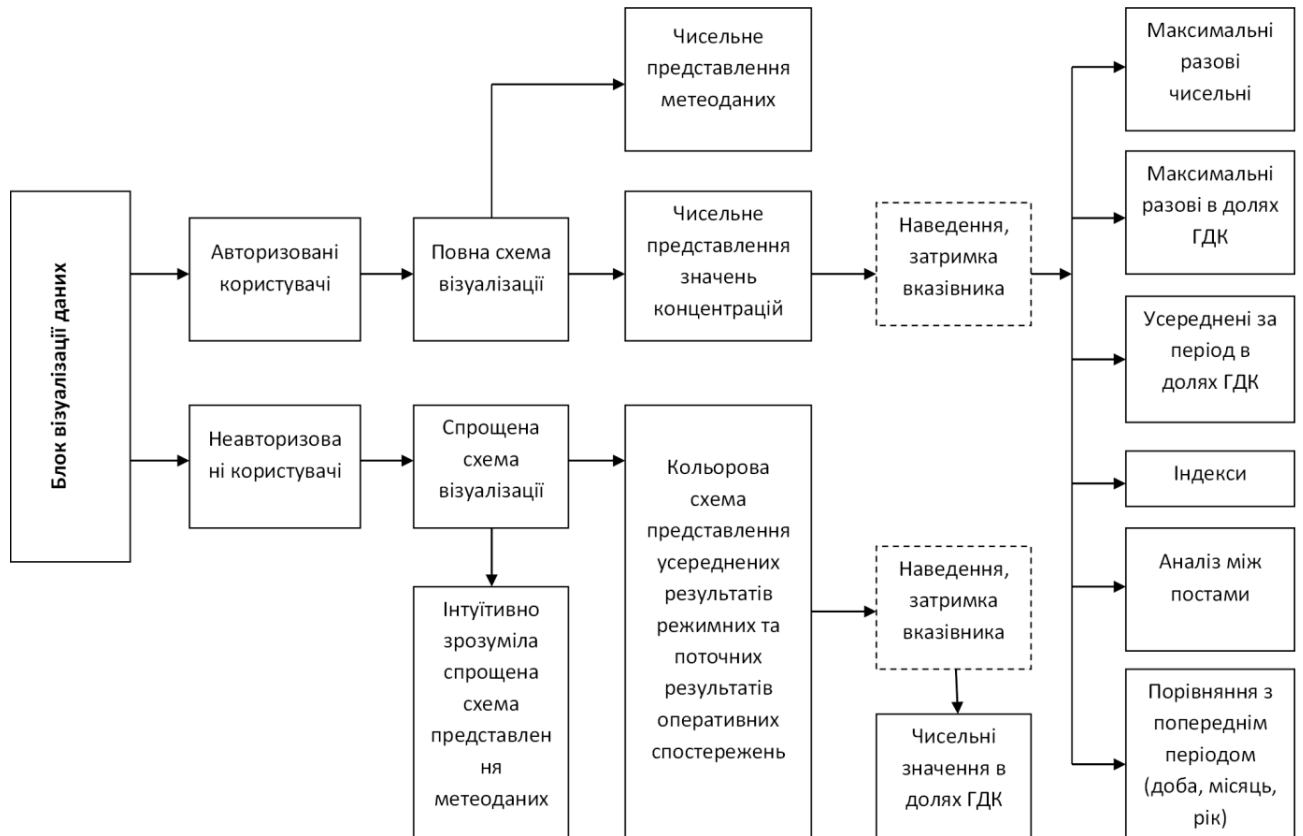


Рисунок 9 – Структура ІАС у частині роботи блока візуалізації даних

Логічне поєднання розроблених схем дозволило розробити загальну структуру ІАС моніторингу якості атмосферного повітря на муніципальному рівні, яку наведено на рис. 10.

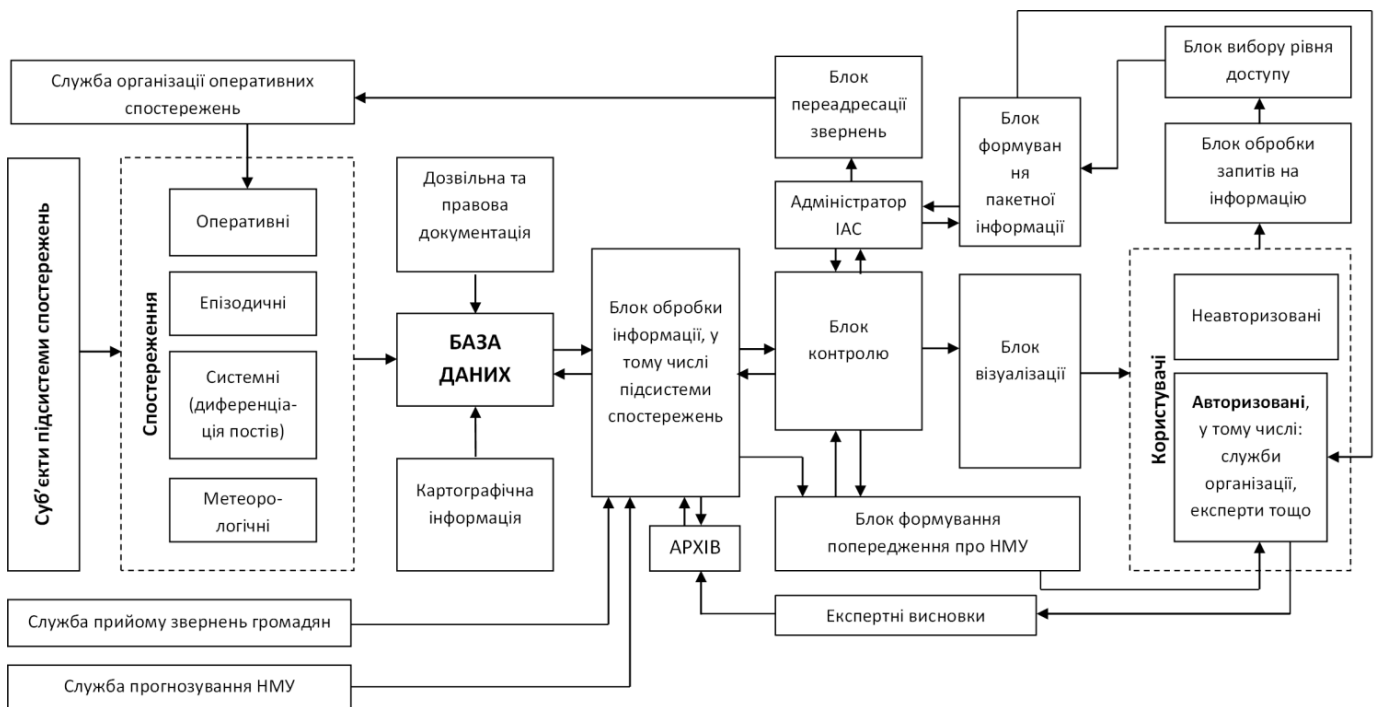


Рисунок 10 – Структура ІАС моніторингу якості атмосферного повітря на муніципальному рівні

Запропонована структура ІАС на відміну від існуючих дозволить вирішити актуальні питання: обґрунтованої організації оперативних спостережень за станом довкілля, у тому числі базуючись на аналізі звернень громадян; оперативного зв'язку служби прогнозування НМУ із службою сповіщення громадян, дозволить диференціювати екологічну інформацію залежно від рівня доступу та авторизації користувачів системи, забезпечуючи таким чином повноту доступу до неї.

**П'ятий розділ** «Інформаційна технологія моніторингу та підтримки прийняття рішень з управління екологічною безпекою» присвячено розв'язанню завдання формування універсальної інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень з управління екологічною безпекою в межах урбосистем і, перш за все, розробці формального базису, що описує склад і структуру такої системи. З урахуванням цього розроблено теоретико-множинну модель, як основу побудови структури інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу (ІАС ЕМ).

Підготовка прийняття рішення відбувається в рамках онтології предметної області:

$$O = \langle E(AT), ER, F, AS \rangle, \quad (11)$$

де  $E$  – набір сутностей предметної області;  $AT$  – множина атрибутів сутностей;  $ER$  – множина відносин сутностей,  $F: E \times ER$  – функції інтерпретації відносин і сутностей;  $AS$  – множина аспектів задач, що визначають підмножини сутностей і зв'язків.

У загальному вигляді модель ІАС ЕМ представлено набором:

$$M = \langle F, PC, R \rangle, \quad (12)$$

де  $F$  – функціональні підсистеми ІАС;  $PC$  – комплекси що забезпечують функціонування ІАС;  $R$  – відносини, що зв'язують елементи ІАС в єдину структуру. Стосовно до розглянутої проблеми створення ІАС ЕМ деталізовано зміст моделі:

$$M = \langle F(MS, SAD), IC, QM, MQM, MM, AC, SP, OC, R_1, R_2, R_3 \rangle, \quad (13)$$

де  $MS$  – підсистема моніторингу параметрів екосистеми;  $SAD$  – підсистема підтримки прийняття рішень;  $IC$  – інформаційний комплекс – бази даних значущих параметрів, база знань про виникаючі ситуації, картографічні бази даних, фактографічна база даних, довідково-нормативна база даних;  $MQ = \langle Q, LQ \rangle$  – модель якості екологічної обстановки, де  $Q$  – множина показників якості відповідно до стандартів;  $LQ$  – множина допустимих значень показників якості;  $MQM = \langle Q_M, LQ_M \rangle$  – модель якості процесу управління ситуацією, де  $Q_M$  – множина значимих показників якості управління;  $LQ_M$  – множина обмежень на керуючі впливи;  $MM$  – комплекс математичних моделей, що використовуються для вирішення задач моніторингу та розпізнавання ситуацій;  $AC$  – комплекс

алгоритмів розв'язання задач моніторингу, розпізнавання та підтримки прийняття рішень;  $SP$  – комплекс інструментальних програмних засобів, що реалізують функціональні задачі ІАС ЕМ;  $OC$  – організаційний комплекс ІАС ЕМ, тобто організаційні принципи і документи, що регламентують контроль екологічної обстановки;  $R1 \subseteq Q_M \times Q$  – відображення множини показників якості управління на множину показників якості екологічної обстановки;  $R2 \subseteq MM \times F$  – розподіл моделей по підсистемах;  $R3 \subseteq F \times Q$  – відношення впливу функціональних підсистем на якість екологічної обстановки.

Для синтезу підсистеми підтримки прийняття рішень розроблено її модель, а також модель пошуку оперативних рішень для особи, що приймає рішення (ОПР).

Задачу пошуку рішень буде визначатися моделлю:

$$PFS = \langle PSM, S, S_A, S_0, S_T, R_T, Q_{CS} \rangle, \quad (14)$$

де  $PSM$  – модель проблемної ситуації в предметній області;  $S$  – множина поточних станів (ситуацій);  $S_A \in S$  – підмножина допустимих станів;  $S_0 \in S$  – підмножина початкових станів;  $S_T \in S$  – підмножина цільових станів;  $R_T: S \rightarrow S$  – кінцева множина правил перетворень. Кожне правило  $R_{Ti} \in R_T$  є функцією, що реалізує відображення  $R_{Ti}: S_i \rightarrow S$ , де  $S_i$  – область визначення  $R_{Ti}$ ;  $Q_{CS}$  – множина критеріїв якості рішення.

Склад підсистеми підтримки прийняття рішень  $SAD$  представлено у вигляді:

$$SAD = \langle DSM(PSM), KB, MB, DB, SS, RR, PM, AB, IDA, UI \rangle, \quad (15)$$

де  $DSM$  – модель пошуку рішень;  $KB$  – база знань;  $MB$  – база моделей фізичних процесів, що підлягають аналізу;  $DB$  – база даних;  $SS$  – множина ознак ситуації;  $RR \subseteq Q \times SS$  – відображення множини показників, що характеризують екологічну обстановку, на множину ознак ситуації;  $PM$  – процес-менеджер, який здійснює диспетчерські функції;  $AB$  – база алгоритмів;  $IDA$  – інтерфейс з підсистемою збору даних;  $UI$  – блок інтерфейсу з користувачами.

Основними елементами інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) є моделі представлення проблемних ситуацій, моделі пошуку рішень, а також засоби організації діалогової взаємодії з користувачем (ОПР, експертом, мешканцем, що надсилає повідомлення) і засоби зв'язку з іншими інформаційними системами. Модель пошуку рішень визначає допустимі перетворення ситуацій і набір стратегій застосування цих перетворень.

Для вирішення задачі усунення несприятливої ситуації модель пошуку рішень формально визначено набором:

$$DSM = \langle PSM, A_{SR}, SR, AAR, \rangle, \quad (16)$$

де  $A_{SR}$  – множина алгоритмів вибору продукцій та їх інтерпретації при виборі рішення;  $SR$  – множина продукцій;  $AAR$  – алгоритм поповнення множини  $SR$  в процесі функціонування СППР.

Отже, побудовано моделі, що дозволяють визначити склад і структуру основних функціональних елементів ІАС ЕМ. На цій основі розроблено модель розпізнавання проблемних (екологічно небезпечних) ситуацій. В основу структурування оперативної інформації покладено аналіз і класифікацію ситуацій (якісних оцінок стану процесу, які ґрунтуються на аналізі параметрів екологічної обстановки).

У процесі розробки нечіткої моделі розпізнавання ситуацій побудовано функції приналежності для лінгвістичних змінних – ознак ситуацій, а також базу знань. Якщо кількість ознак ситуацій  $n$ , а число ситуацій  $m$ , то, з урахуванням введення вагових коефіцієнтів  $w^{ji}$ , база нечітких знань буде зображена у вигляді таблиці 3.

Таблиця 3 – Структура бази нечітких знань з діагностики ситуацій

№ з/п	Вхідні змінні та коефіцієнти індивідуальної настройки елементарних посилок								Вихідна змінна
	$x_1$		$x_2$		... $x_i$ ...		$x_n$		
$1_1$	$A_1^{11}$	$w_1^{11}$	$A_2^{11}$	$w_2^{11}$	$A_i^{11}$	$w_i^{11}$	$A_n^{11}$	$w_n^{11}$	$d_1$
$1_2$	$A_1^{12}$	$w_1^{12}$	$A_2^{12}$	$w_2^{12}$	$A_i^{12}$	$w_i^{12}$	$A_n^{12}$	$w_n^{12}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
$1_{kl}$	$A_1^{1k_l}$	$w_1^{1k_l}$	$A_2^{1k_l}$	$w_2^{1k_l}$	$A_i^{1k_l}$	$w_i^{1k_l}$	$A_n^{1k_l}$	$w_n^{1k_l}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$j_1$	$A_1^{j1}$	$w_1^{j1}$	$A_2^{j1}$	$w_2^{j1}$	$A_i^{j1}$	$w_i^{j1}$	$A_n^{j1}$	$w_n^{j1}$	$d_j$
$j_2$	$A_1^{j2}$	$w_1^{j2}$	$A_2^{j2}$	$w_2^{j2}$	$A_i^{j2}$	$w_i^{j2}$	$A_n^{j2}$	$w_n^{j2}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
$j_{kp}$	$A_1^{jk_p}$	$w_1^{jk_p}$	$A_2^{jk_p}$	$w_2^{jk_p}$	$A_i^{jk_p}$	$w_i^{jk_p}$	$A_n^{jk_p}$	$w_n^{jk_p}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$m_1$	$A_1^{m1}$	$w_1^{m1}$	$A_2^{m1}$	$w_2^{m1}$	$A_i^{m1}$	$w_i^{m1}$	$A_n^{m1}$	$w_n^{m1}$	$d_m$
$m_2$	$A_1^{m2}$	$w_1^{m2}$	$A_2^{m2}$	$w_2^{m2}$	$A_i^{m2}$	$w_i^{m2}$	$A_n^{m2}$	$w_n^{m2}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
$m_{km}$	$A_1^{mk_m}$	$w_1^{mk_m}$	$A_2^{mk_m}$	$w_2^{mk_m}$	$A_i^{mk_m}$	$w_i^{mk_m}$	$A_n^{mk_m}$	$w_n^{mk_m}$	

Елемент  $A_i^{jp}$ , що знаходиться на перетині  $i$ -го стовпця та  $j_p$ -го рядка відповідає лінгвістичній оцінці параметра  $x_i$  в рядку матриці знань з номером  $j_p$ . Лінгвістична оцінка вибирається з терм-множин, що відповідають змінній  $x_i$ , яка описує стан процесу, тобто  $A_i^{jp} \in T_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$ . Тоді удосконалена нечітка модель розпізнавання ситуацій виглядає таким чином:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \bigcap_{i=1}^n \left[ \left( x_i = A_i^{jp} \right) w_i^{jk_p} \right] \rightarrow d_j \quad (17)$$

де  $d_j$  – діагностичний висновок щодо поточної ситуації.

Діагностика ситуації передбачає визначення ступеня критичності. На першому етапі процедури визначення критичності для кожної ознаки  $x_i$  з правила, що визначає ситуацію  $S$ , фіксують значення  $x_i^*$  як відстань від центра кластера номінального режиму до поточної робочої точки. На другому етапі обчислюють ступінь критичності як зважену суму значень ознак:

$$K_S = \sum_{i=1}^{n_S} \alpha_i x_i^* , \quad (18)$$

де  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт значущості ознаки з точки зору критичності ситуації.

На третьому етапі надається лінгвістична оцінка критичності ситуації.

Отже, побудовано нечітку модель розпізнавання ситуацій (17)–(18), яка дозволяє коригувати і поповнювати базу знань і генерувати повідомлення та рекомендації щодо корекції екологічної обстановки або прийняття заходів з екологічної безпеки.

У разі розробки зазначених вище складових ІАС на муніципальному рівні буде сформовано базис підсистем комплексної системи моніторингу, що дозволить забезпечити її ефективність. Наявність розгалужених безпосередніх взаємозв'язків підсистем у комплексі мають забезпечувати єдність системи моніторингу шляхом раціональної організації процесів збору, обробки і передачі інформації. Послідовність останніх представлено на рис. 11 у вигляді інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття оперативних рішень щодо екологічної безпеки.

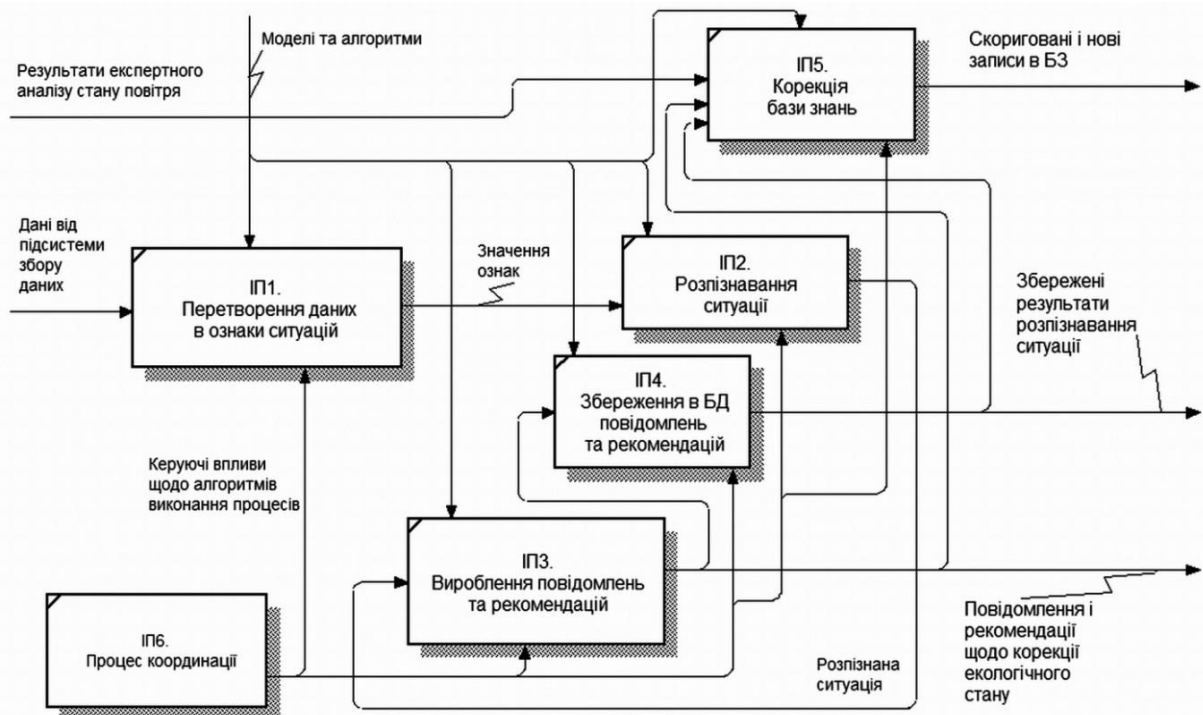


Рисунок 11 – Загальна схема інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття оперативних рішень

Таким чином, розроблено інформаційну технологію моніторингу та підтримки прийняття оперативних рішень з управління екологічною безпекою в системі комплексного муніципального екологічного моніторингу атмосферного повітря.

У шостому розділі «Практична реалізація складових системи моніторингу атмосферного повітря на прикладі м. Кременчук» висвітлено практичні аспекти реалізації системи моніторингу як комплексу системних, оперативних та епізодичних спостережень за якістю атмосферного повітря для техногенно навантаженої урбосистеми м. Кременчук.

Розроблено програму постійного контролю та спостереження (моніторингу) за забрудненням атмосферного повітря на відповідність вмісту забруднюючих речовин нормам ГДК, інтегровану з існуючою системою спостережень за забрудненням атмосферного повітря, яку затверджено рішенням Виконавчого комітету Кременчуцької міської ради.

Особливу увагу приділено аналізу роботи системи реагування на звернення громадян. Було проаналізовано базу даних звернень громадян і визначено 1600 скарг мешканців з питань погіршення якості атмосферного повітря за 2016 рік. Визначено мінімальну кількість звернень за годину для оперативного виїзду екологічної лабораторії. Просторовий розподіл звернень візуалізовано на рис. 12.

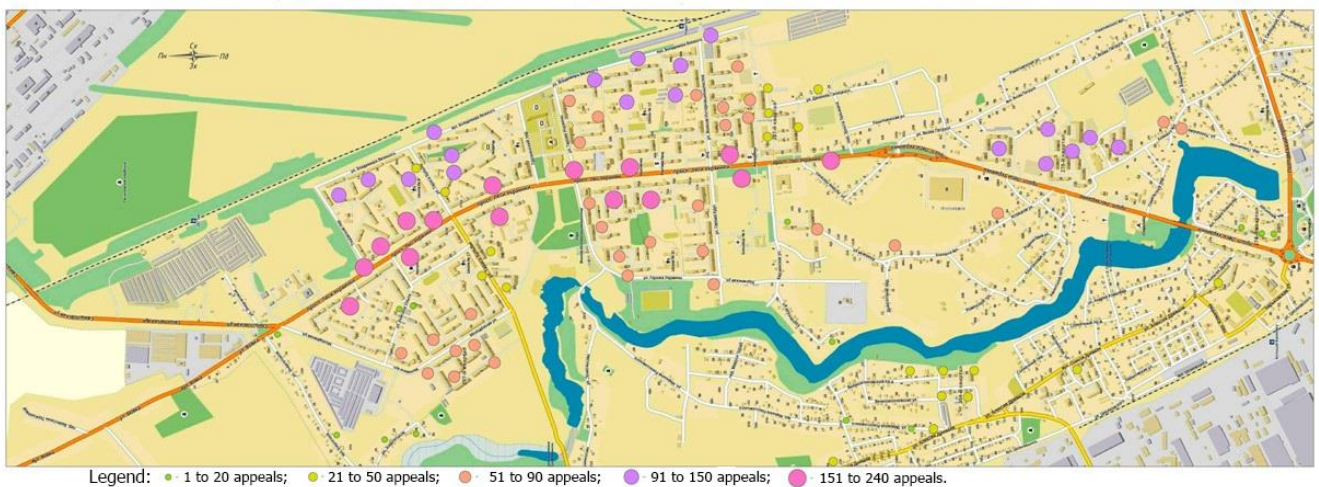


Рисунок 12 – Розподіл звернень громадськості району «Молодіжний» м. Кременчук з питань погіршення якості атмосферного повітря

Вибірку з бази даних звернень проаналізовано у порівнянні із основними метеорологічними чинниками: напрямом вітру та швидкістю вітру (див. табл. 4). При цьому було висунуто задачу перевірки гіпотези, що напрям вітру та його швидкість має вплив на кількість звернень громадян. Для перевірки висунутих гіпотез застосовано методи статистичного аналізу, а саме – факторного (дисперсійного аналізу). Зважаючи на несуттєвий об'єм даних у вибірці, за умов рівня значущості  $\alpha = 0,1$ , встановлено, що в 90% випадків число звернень залежить від рівня середньої швидкості вітру.



Таблиця 4 – Аналіз метеорологічних чинників під час виникнення десяти випадків найбільшої кількості звернень

Кількість звернень	Дата	Інтервал часу	Переважаючий напрямок вітру	Максимальна швидкість вітру, м/с	Середня швидкість вітру, м/с	Максимальна температура атмосферного повітря, град.	Середня температура атмосферного повітря, град.
36	29.06.	17:01 – 17:59	Сх	3,5	1,08	29,77	25,26
32	29.06.	19:01 – 19:57	ПнЗх	4,1	1,29	25,68	24,76
22	04.08.	21:04 – 21:55	Пн	3,6	1,46	28,96	22,86
19	15.07.	23:00 – 23:57	Сх	2,9	0,52	33,88	28,02
18	23.06.	22:08 – 22:53	Пн	4,1	1,16	30,10	25,52
17	30.06.	20:01 – 20:59	ПнЗх	3,8	1,72	21,18	21,00
15	28.06.	21:02 – 21:58	Сх	3,6	1,04	30,53	26,33
14	16.07.	22:04 – 22:59	ПнСх	3,3	1,30	36,44	29,57
14	29.06.	20:00 – 20:57	ПнЗх	4,0	0,96	25,68	24,09
13	15.07.	22:02 – 22:58	ПнСх	4,0	0,94	35,81	29,25

Отже, проведення сумісного аналізу звернень громадян у почасовому інтервалі із значеннями основних метеорологічних параметрів дозволить використати потужності аналізу даних для задач прогнозування умов різкого погіршення якості атмосферного повітря, локально, в межах населеного пункту.

Здійснено оцінювання якості роботи розробленої моделі розпізнавання ситуацій. Сформовано словник ознак ситуацій (прикладів), до якого увійшли фактичні результати замірів концентрацій забруднюючих речовин, фонового іонізуючого випромінювання, швидкості і напрямку вітру та чисельності скарг мешканців по районах міста. Для настроювання нечіткої моделі розпізнавання ситуацій використовувалося 90 прикладів і ще 90 – для тестування. На рисунку 13 показано частку розпізнаних ситуацій до і після навчання. Встановлено, що після навчання кількість правильно розпізнаних ситуацій підвищується від 1,7% до 6,1% в діапазоні тестової вибірки (90 прикладів).

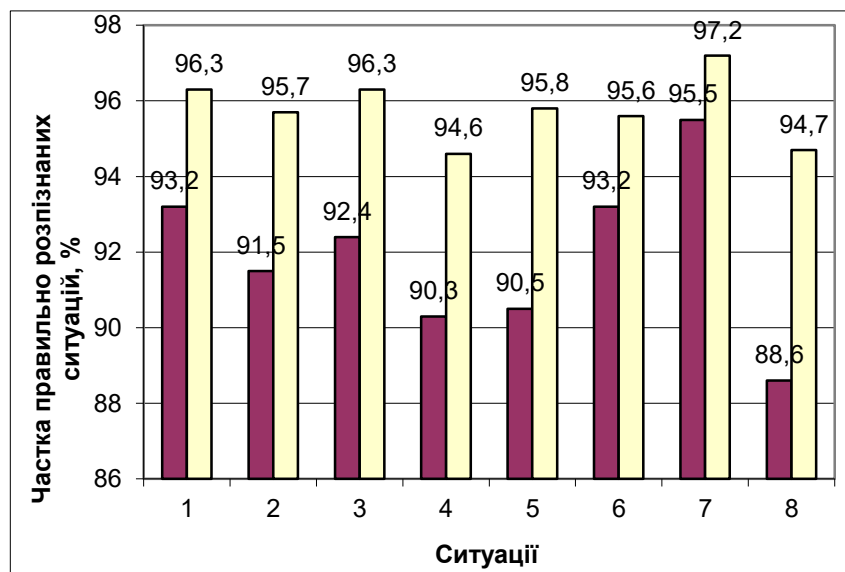


Рисунок 13 – Частка правильно розпізнаних ситуацій до та після навчання моделі

Реалізація запропонованої програми спостережень дозволить забезпечити розв'язання концептуальних завдань захисту атмосферного повітря і здоров'я громадян міста та інтеграцію програм спостережень між усіма суб'єктами моніторингу.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі узагальнення результатів виконаних теоретичних та експериментальних наукових досліджень подано нове розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми удосконалення методологічного підходу до розробки структури муніципального екологічного моніторингу шляхом створення комплексу функціонально взаємопов'язаних елементів системи екологічного моніторингу атмосферного повітря техногенно навантажених урбосистем, що у сукупності забезпечує розробку обґрунтованих управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки. Зокрема:

1. Встановлено що основною проблемою у спробах підвищення ефективності систем моніторингу довкілля на муніципальному рівні в Україні є недосконалість організації підсистем спостереження й оцінювання, що у кінцевому випадку призводить до недостатньої обґрунтованості в підсистемі підтримки прийняття управлінських рішень, яка безпосередньо пов'язана з управлінням екологічною безпекою.

2. Запропоновано базову схему концепції екологічного моніторингу. Конкретизовано складові концепції з виділенням цілей, задач, стратегічних результатів, статичних та динамічних індикаторів її реалізації. Доведено доцільність виділення разом з технічними, соціальних індикаторів, саме чисельні показники яких визначають антропоцентричну спрямованість концептуального підходу до розробки систем екологічного моніторингу. Сформовано теоретичний базис для побудови інформаційних сайтів та запропоновано вимоги до їх структури як частини ІАС екологічного моніторингу.

Визначено пріоритетні завдання функціонування муніципальних систем моніторингу, серед яких, зокрема, встановлено доцільність мобільного контролю, необхідність поточного інформування громадян і органів муніципальної влади та забезпечення термінового реагування на запити членів громади. Проведено експериментальні та аналітично-розрахункові дослідження стану забруднення атмосферного повітря в умовах сучасних змін забудови населених міст (на прикладі м. Кременчук та м. Дніпро). Обґрунтовано методи визначення зон активного забруднення, використання яких дозволить оптимізувати мережу стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря для ведення екологічного моніторингу. Доведено, що лінійний розмір ЗАЗ для промислових об'єктів варто встановлювати на рівні 40~50 висот найвищого стаціонарного джерела викидів. Розроблений спосіб побудови мережі стаціонарних постів

моніторингу забруднення атмосфери населеного пункту, визначення їх місць розташування (із диференціацією на «міські фонові», «міські транспортні» та «міські мережеві» залежно від розміщення відносно ЗАЗ промислових об'єктів I-III класу небезпеки та транспортних магістралей) та кількості (з урахуванням як мінімум одного «фонового» та одного «транспортного» стаціонарних постів) для оцінювання якості атмосферного повітря в системі моніторингу забруднення атмосферного повітря.

3. Обґрунтовано структуру комплексної система екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистеми (на муніципальному рівні управління екологічною безпекою) у складі якої виділено такі підсистеми: прогнозування МУЗ та попередження про настання НМУ; спостереження, із диференціацією якісних характеристик інформації постів контролю; презентації результатів спостережень, їх аналізу, напрацьованих рішень із широким та диференційованим доступом; оцінювання результатів спостережень і короткострокового прогнозування змін; незалежного експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря; накопичення вихідної, первинної та вторинної (у тому числі розроблених управлінських рішень) інформації системи моніторингу (база даних). Комплексність системи забезпечує логічне поєднання служб-підсистем у частині взаємозв'язку результатів виконання завдань із загальною метою забезпечення населення достовірною та диференційованою інформацією про стан атмосферного повітря, а також – найголовніше – одержання чітких аргументованих підстав для прийняття організаційно-управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки.

4. Розроблено загальну структуру ІАС моніторингу якості атмосферного повітря на муніципальному рівні. Деталізовано складові ІАС у частині: формування бази даних за результатами спостережень, роботи блока візуалізації даних, обробки запитів на інформацію та її візуалізації. Розроблено структурні схеми функціональних взаємозв'язків підсистеми попередження про НМУ, організації оперативних спостережень на основі аналізу звернень громадян, експертного оцінювання поточної та оперативної інформації про стан забруднення атмосферного повітря на основі принципу «внутрішнє (житлове) – зовнішнє (навколишнє) середовище». Запропоновано структуру ІАС у частині обробки запитів на інформацію та її візуалізації, а також структурну схему роботи блоку візуалізації даних, що дозволить диференціювати інформацію за різними схемами залежно від рівня доступу та авторизації користувачів системи, забезпечуючи таким чином повноту доступу до екологічної інформації відповідно до вимог законодавства.

5. Розроблено теоретико-множинні моделі, що описують архітектуру інформаційно-аналітичної системи моніторингу та підтримки прийняття рішень щодо заходів, які забезпечують екологічну безпеку урбанізованих територій на муніципальному рівні. Розроблено адаптивну нечітку модель розпізнавання

ситуацій у процесі моніторингу екологічної обстановки, яка дозволяє просте масштабування системи підтримки прийняття рішень. Це досягається, по перше, за рахунок простого розширення словника ознак, ситуацій і бази знань. По друге, гнучкого налаштування бази знань шляхом корекції вагових коефіцієнтів, що дозволяє підвищити частку правильно розпізнаних ситуацій і підвищує ефективність управління екологічною безпекою. Сформовано загальний опис інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції екологічно небезпечних ситуацій. Результати роботи застосовані при розробці інформаційно-аналітичної системи моніторингу та підтримки прийняття рішень з екологічної безпеки на рівні міста.

6. На прикладі конкретної техногенно навантаженої урбосистеми (м. Кременчук) розроблено програму і схеми системних, епізодичних та оперативних спостережень за якістю атмосферного повітря. Реалізація запропонованої програми спостережень дозволить забезпечити розв'язання наступних концептуальних завдань: забезпечити повноту інформації про якість атмосферного повітря на території муніципалітету; забезпечити контроль за станом атмосферного повітря в місті, як за рахунок систематичних спостережень за загальним рівнем забруднення, так і шляхом організації та проведення оперативних і систематичних спостережень на межі СЗЗ цих об'єктів; одержувати диференційовану інформацію від системи спостереження достатню для обґрунтування управлінських рішень у сфері захисту атмосферного повітря і здоров'я громадян міста; забезпечити інтеграцію програм спостережень між усіма суб'єктами моніторингу. Отримано результати настроювання нечіткої моделі розпізнавання ситуацій шляхом експериментального навчання системи на прикладах – конкретних результатах спостережень за станом атмосферного повітря. Встановлено, що кількість правильно розпізнаних ситуацій після навчання підвищується від 1,7% до 6,1% в діапазоні тестової вибірки.

Наукові результати і практичні рекомендації з розробки комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем впроваджені на КП «Науково-технічний центр еколого-соціальних досліджень» м. Кременчука при роботі ПМЕЛ, у відділі екологічної безпеки виконавчого комітету Кременчуцької міської ради Полтавської області у частині реалізації програми постійного моніторингу атмосферного повітря. Також, результати роботи використовуються у навчальному процесі підготовки фахівців-екологів на першому та третьому рівнях вищої освіти у КрНУ.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Бахарєв В.С., Шевченко І.В., Коваль С.С., Корцова О.Л. Інформаційно-технологічні аспекти управління екологічною безпекою в системах

муниципального моніторингу атмосферного повітря. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2017. № 4 (105). С. 68–73.

2. Bakharev V., Sankov P., Trifonov I., Tkach N., Hilov V., Tretyakov O., Nesterenko S. Development of the method of evaluation the level of environmental safety of housing accommodation and its approbation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4, Issue 10 (88). P. 61–69.

3. Bakharev V., Kortsova O., Marenych A., Kyrylaha N., Moroz M. Some aspects of the analysis of citizens' appeals to municipalities on environmental issues. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2017. Vol. 4, Issue 8. P. 272–278. URL: [http://ijiset.com/vol4/v4s8/IJSET\\_V4\\_I08\\_29.pdf](http://ijiset.com/vol4/v4s8/IJSET_V4_I08_29.pdf) (Last accessed: 25.08.2017).

4. Бахарев В.С. Структура інформаційно-аналітичної системи муніципального моніторингу якості атмосферного повітря. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2017. № 3 (104). Ч.1. С. 85–92.

5. Bakharev V., Marenych A., Sankov P., Hilov V. The key aspects of atmospheric air ecological monitoring concept formation at the urban systems level. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2016. Vol. 4, Issue 7. P. 133–139. URL: [http://ijiset.com/vol4/v4s7/IJSET\\_V4\\_I07\\_18.pdf](http://ijiset.com/vol4/v4s7/IJSET_V4_I07_18.pdf) (Last accessed: 15.07.2017).

6. Bakharev V., Sankov P., Trifonov I., Tkach N., Hilov V. Prediction of Acoustic Pollution in the Conditions of Reconstruction of Industrial Enterprise. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2017. Vol. 4, Issue 5. P. 356–363. URL: [http://ijiset.com/vol4/v4s5/IJSET\\_V4\\_I05\\_54.pdf](http://ijiset.com/vol4/v4s5/IJSET_V4_I05_54.pdf) (Last accessed: 25.05.2017).

7. Бахарев В.С., Маренич А.В., Мороз М.М. Виконання комплексу завдань моніторингу атмосферного повітря за допомогою пересувної муніципальної екологічної лабораторії в м. Кременчук. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2017. № 1 (23). С. 32–39.

8. Бахарев В.С., Маренич А.В., Обґрунтування вимог до організації та проведення режимних, оперативних та епізодичних спостережень за якістю атмосферного повітря із застосуванням пересувних екологічних лабораторій. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2017. № 1 (102). С. 88–97.

9. Бахарев В.С., Маренич А.В., Саньков П.Н., Гилёв В.В. Определение зон активного загрязнения атмосферного воздуха от промышленных предприятий и транспорта для организации систем экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Научно-методический журнал «Наука, техника и образование»*. Москва: Проблемы науки, 2016. № 12 (30). С. 33–37.

10. Bakharev V.S., Marenych A.V., Voloshyna V.G. The environmental electromagnetic pollution problems analysis in the context of this type of environmental hazard environmental monitoring methodology formation. *Вісник КрНУ імені*

*Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 6 (101). С. 96–103.

11. Бахарев В.С., Маренич А.В. Аналітичний огляд результатів наукових досліджень з проблем моніторингу довкілля в Україні. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 2 (22). С. 35–42.

12. Бахарев В.С., Маренич А.В. Теоретичний базис розробки систем моніторингу якості атмосферного повітря урбосистем з використанням пересувних лабораторних комплексів. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 5. Ч.2 (100). С. 77–82.

13. Бахарев В.С., Саньков П.Н., Гилёв В.В., Макарова В.Н. Определение достоверности метода экспресс–оценки состояния экологической безопасности примагистральных территорий селитебных зон по уровню загазованности. *Бюллетень науки и практики: электрон. науч. журн.* 2016. № 12 (13). С.107–113. URL: <http://www.bulletennauki.com/sankov-1> (дата обращения: 15.11.2016). DOI:10.5281/zenodo.205132.

14. Бахарев В.С. Недосконалість існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистеми: причини, наслідки, шляхи вдосконалення. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 5 (100). С. 76–81.

15. Бахарев В.С., Маренич А.В., Журавська М.К. Аналіз адекватності діючої мережі та обґрунтування пропозицій щодо розміщення стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря у м. Кременчук. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 4 (99). С. 80–87.

16. Bakharev V.S., Marenych A.V., Zhuravska M.K. To the question of stationary air sampling stations location and number determination in urban agglomerations ecological monitoring system. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 1 (21). С. 42–45.

17. Екологічні пріоритети Кременчука: сучасний стан і перспективи: колективна монографія. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2016. 100 с.

18. Бахарев В.С., Саньков П.Н., Макарова В.Н., Гільов В.В., Ткач Н.А. Определение достоверности метода экспресс-оценки шумового загрязнения селитебных территорий по результатам экспериментальных исследований. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2015. № 2 (20). С. 96–100.

19. Бахарев В.С., Макарова В.М., Гилев В.В., Трошин М.Ю. Метод экспресс-оценки урбанизированных территорий по фактору загазованности выхлопными газами автотранспорта. *Научно-методический журнал «Наука, техника и образование»*. Москва: Проблемы науки, 2015. № 10 (16). С. 62–64.

20. Бахарев В.С., Сакун О.А., Никифоров В.В. Оцінка та прогнозування впливу шумового та електромагнітного забруднення на природно-заповідні та рекреаційні території. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2015. № 4 (93). С. 90–96.

21. Бахарев В.С., Саньков П.М., Ткач Н.О. Рекомендації щодо організації екологічно безпечного розміщення місць паркування для транспортних засобів з урахуванням фактору шуму. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2014. № 2 (18). С. 35–42.

22. Бахарев В.С., Саньков П.Н., Маковецкий Б.И., Ткач Н.А. Шумовой режим внутриквартальной автостоянки для временного хранения автотранспорта. *Научно-методический журнал «Наука, техника и образование»*. Москва: Проблемы науки, 2014. № 4. С. 24–27.

23. Бахарев В.С., Дмитриков В.П. Структурные приоритеты экспертной системы экологического мониторинга. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2013. Вип. 2 (16). С. 28–31.

24. Бахарев В.С., Котенко Е.О., Полищук Д.В., Полищук В.С. Расчет эффективности снижения уровня аэродинамического шума газового потока перфорированной пластиной. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2013. Вип. 1 (15). С. 103–106.

25. Бахарев В.С., Корцова О.Л., Костира В.В., Маринін Д.В. Дослідження стану забруднення атмосферного повітря в умовах змін сучасної забудови населених міст. *Науковий журнал «Екологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2012. № 1 (13). С. 43–47.

26. Бахарев В.С., Єлізаров О.І., Дейна І.П. Способи та методи оцінки зниження рівнів шумового забруднення атмосферного повітря. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2012. № 2 (73). С. 156–158.

27. Бахарев В.С., Смагін Д.М., Луговой А.В. Дослідження процесу розповсюдження домішок у верхніх прошарках атмосфери. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КДПУ, 2009. № 1 (54). Ч. 1. С. 111–113.

28. Бахарев В.С., Сараненко І.І., Корольова Л.В., Костенко П.П. Використання комп'ютерного графічного моделювання при проектуванні санітарно-захисної зони підприємства. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КДПУ, 2008. № 6 (47). Ч. 2. С. 53–56.

29. Бахарев В.С., Шмандий В.М., Шмандий Е.В. Особенности формирования экологической опасности на региональном уровне и социогенные аспекты управления экологической безопасностью. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки*. Одеса: ОДАБТА, 2008. № 29. Ч.1. С. 381–388.

***Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:***

30. Бахарев В.С. Моделі інформаційної технології та підтримки прийняття рішень в системі муніципального моніторингу атмосферного повітря. *Проблеми екологічної безпеки: збірник тез доповідей XV Міжнародної науково-технічної конференції*. (Кременчук, 11–13 жовтня 2017 р.). Кременчук: КрНУ, 2017. С. 79.

31. Бахарев В.С. Функціональні особливості створення муніципальних систем моніторингу атмосферного повітря в Україні. *Екологія – 2017: збірник*

наукових праць VI Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. (Вінниця, 20–22 вересня 2017 р.). Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 87.

32. Бахарев В.С. До питання визначення зон активного забруднення атмосферного повітря від техногенних об'єктів. *Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки*: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції. (Кременчук, 01–03 червня 2017 р.). Кременчук: КрНУ, 2017. С. 87.

33. Бахарев В.С., Маренич А.В., Корцова О.Л. Аналіз звернень громадян як засіб організації оперативного моніторингу якості атмосферного повітря. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта-наука-виробництво-2017*: збірник тез доповідей XX міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, 19–22 квітня 2017 р.). Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. С. 33–34.

34. Бахарев В.С., Маренич А.В. Організація режимних, оперативних та епізодичних спостережень за якістю атмосферного повітря з використанням мобільних екологічних лабораторій. *ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації*: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції. (Івано-Франківськ, 22–25 березня 2017 р.). Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2017. С. 262–264.

35. Бахарев В.С., Маренич А.В. Методика визначення внеску різноякісних джерел у загальний рівень забруднення атмосферного повітря урбосистем. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: тези доповідей IV міжнародної наукової конференції молодих учених. (Харків, 1–2 грудня 2017 р.). Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. С. 70–71.

36. Бахарев В.С. Визначення місць розташування постів моніторингу атмосферного повітря з урахуванням сценарію відсутності зовнішнього впливу на територію міської агломерації. *Архітектура та Екологія*: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. (Київ, 31 жовтня – 01 листопада 2016 р.). Київ: НАУ, 2016. С. 25–27.

37. Бахарев В.С., Гільов В.В. Методика бальної оцінки впливу чинників екологічної небезпеки на стан довкілля шляхом експертного оцінювання. *Проблеми екологічної безпеки*: збірник тез доповідей XIV Міжнародної науково-технічної конференції. (Кременчук, 12–14 жовтня 2016 р.). Кременчук: КрНУ, 2016. С. 18.

38. Бахарев В.С., Маренич А.В. До питання визначення місць розташування та кількості стаціонарних пунктів відбору проб атмосферного повітря в системі муніципального екологічного моніторингу. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: збірник матеріалів IV міжнародного конгресу. (Львів, 21–23 вересня 2016 р.). Львів: НУ «Львівська політехніка», 2016. С. 67.



39. Бахарев В.С. Базові причини недосконалості існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні. *Актуальні проблеми енергетики та екології*: матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції. (Одеса, 05–07 жовтня 2016 р.). Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2016. С. 172.

40. Бахарев В.С., Маренич А.В., Дейна І.П. Проблемні питання екологічного моніторингу шумового та електромагнітного забруднення в межах сельбищних територій. *Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки*: збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, 04 грудня 2015 р.). Х.: НУНЦЗУ, 2015. С.153–154.

41. Бахарев В.С., Маренич А.В. Проблемні питання екологічного моніторингу електромагнітного забруднення. *Проблеми екологічної безпеки*: збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-технічної конференції. (Кременчук, 06–08 жовтня 2015 р.). Кременчук: КрНУ, 2015. – С.47.

42. Бахарев В.С., Маренич А.В. Оцінка цілодобового безперервного впливу електромагнітного випромінювання на стан здоров'я людини – базис для розробки системи екологічного моніторингу. *Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку регіонів*: матеріали XVI міжнародної наук.-практ. конф. (Кременчук, 14–15 травня 2015 р.). Кременчук: КрНУ, 2015. С. 82–83.

43. Бахарев В.С., Дейна І.П. Шумове забруднення компонентів довкілля як чинник техногенної небезпеки. *Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки*: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції. (Харків, 6 грудня 2013 р.). Х.: НУНЦЗУ, 2013. С. 190–191.

44. Бахарев В.С., Романенко С.С., Приходько А.С. Використання можливостей інтернет-сервісів YandexMaps та GoogleMaps для графічного відображення екологічної інформації. *Ідеї академіка Вернадського та науково-практичні проблеми стійкого розвитку регіонів*: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. (Кременчук, 29–30 вересня 2011 р.). Кременчук: КрНУ, 2011. С. 129.

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

45. Спосіб побудови мережі стаціонарних постів моніторингу забруднення атмосфери населеного пункту, визначення їх кількості та місць розташування: пат. 119268 Україна: МПК(2006) G01W1/00, G01N21/94(2006.01) № 201700145; заявл. 03.11.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18 (кн. 1). 4 с.

## АНОТАЦІЯ

**Бахарєв В.С. Комплексна система екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Сумський державний університет, 2018. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

В дисертаційній роботі приведено результати наукових досліджень із розробки комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем.

Запропоновано базову схему побудови концепції екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні. Конкретизовано складові концепції з виділенням цілей, задач, стратегічних результатів, статичних та динамічних індикаторів реалізації концепції.

Обґрунтовано методологічний підхід до визначення зон активного забруднення, використання якого дозволить оптимізувати мережу стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря для ведення екологічного моніторингу урбанізованих територій. Розроблено спосіб побудови мережі стаціонарних постів моніторингу забруднення атмосфери населеного пункту, визначення їх кількості та місць розташування. Спосіб відрізняється від існуючих тим, що дозволяє чітко встановити кількість стаціонарних постів спостережень на території населеного пункту незалежно від кількості мешканців, визначити місця розташування стаціонарних постів з одержанням диференційованої інформації від системи спостережень.

Розроблено структуру комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистем взаємодія підсистем в межах якої забезпечує логічне поєднання особливостей їх функціонування із метою забезпечення населення достовірною та диференційованою інформацією. Це є підґрунтям для прийняття організаційно-управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки. Запропоновано структуру інформаційно-аналітичної системи (ІАС) муніципального моніторингу якості атмосферного повітря та структури складових ІАС і підсистем комплексної системи моніторингу.

Розроблено теоретико-множинну модель інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні, що включає підсистеми моніторингу параметрів екосистеми, підтримки прийняття рішень, інформаційний комплекс «база даних параметрів – база знань ситуацій» та дозволяє оперативно розпізнавати екологічно небезпечні ситуації та приймати адекватні рішення щодо їх корекції.

Розроблено загальну схему інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття оперативних рішень з управління екологічною безпекою в

системі муніципального екологічного моніторингу атмосферного повітря.

На прикладі урбосистеми техногенно навантаженого міста Кременчука розроблено програму постійного контролю та спостереження (моніторингу) за забрудненням атмосферного повітря на відповідність вмісту забруднюючих речовин нормам ГДК, інтегровану з існуючою системою спостережень за забрудненням атмосферного повітря.

**Ключові слова:** екологічна безпека, моніторинг, система, управління, атмосферне повітря, якість, спостереження, інформаційно-аналітична система, інформаційна технологія моніторингу.

## АННОТАЦІЯ

Бахарев В.С. Комплексная система экологического мониторинга атмосферного воздуха урбосистем. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумской государственный университет, 2018. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

В диссертационной работе приведены результаты научных исследований по разработке комплексной системы экологического мониторинга атмосферного воздуха урбосистем.

Доказано, что существующий теоретический базис реализации систем экологического мониторинга требует усовершенствования в части формирования единого концептуального антропоцентрического подхода к решению проблем как эффективного оценивания качества компонентов окружающей среды так и полноценного информирования общественности об их состоянии. Предложено базовую схему построения концепции экологического мониторинга атмосферного воздуха на муниципальном уровне. Конкретизированы составляющие концепции с выделением целей, задач, стратегических результатов, статических и динамических индикаторов реализации концепции.

Проведено экспериментальные и аналитически-расчётные исследования состояния загрязнения атмосферного воздуха в условиях современных изменений застройки городов. Особое внимание уделено влиянию автомобильного транспорта на состояние ингредиентного и шумового загрязнения атмосферного воздуха, как в пределах магистральных улиц так и в зонах селитебной застройки. Обоснованы методологические подходы к определению зон активного загрязнения, использование которых позволит оптимизировать сеть стационарных постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха для ведения экологического мониторинга урбанизированных территорий.

Разработан способ построения сети стационарных постов мониторинга атмосферного воздуха населенного пункта, определение их количества и мест

расположения для оценки качества атмосферного воздуха. Предложенный способ отличается от существующих тем, что позволяет четко установить количество стационарных постов наблюдений на территории населенного пункта независимо от количества жителей, места расположения стационарных постов. Позволяет получить дифференцированную информацию от системы наблюдений: в зонах селитебной застройки, находящихся в пределах зон активного загрязнения промышленных объектов I-III классов опасности, автотранспортных магистралей (дорог) и в зонах селитебной застройки, расположенных вне зон активного загрязнения промышленных объектов и транспорта. Полученная таким образом информация сети наблюдений позволит определять вклад источников загрязнения различного вида в общий уровень загрязнения атмосферного воздуха урбосистемы.

Разработана структура комплексной системы экологического мониторинга атмосферного воздуха на муниципальном уровне управления экологической безопасностью, основанная на взаимодействии подсистем в ее пределах. Выделены следующие подсистемы: прогнозирования метеорологических условий загрязнения атмосферы и предупреждения об опасных метеоусловиях; наблюдения, с дифференциацией качественных характеристик информации постов контроля; презентации результатов наблюдений, их анализа, наработанных решений с широким и дифференцированным доступом; оценки результатов наблюдений и краткосрочного прогнозирования изменений; независимого экспертного оценивания текущей и оперативной информации о состоянии загрязнения атмосферного воздуха; накопления исходной первичной и вторичной (в том числе разработанных организационно-управленческих решений) информации системы мониторинга (база данных). Предложена структура информационно-аналитической системы (ИАС) муниципального мониторинга качества атмосферного воздуха и структуры составляющих ИАС и подсистем комплексной системы мониторинга.

Разработана теоретико-множественная модель построения структуры информационно-аналитической системы экологического мониторинга (ИАС ЭМ). Обоснована структура детализированной модели ИАС ЭМ, в составе которой четко определены функциональные подсистемы ИАС, комплексы обеспечивающие функциональные взаимоотношения, связывающие элементы ИАС в единую структуру. Определен состав и структура основных функциональных элементов ИАС ЭМ. Разработана общая схема информационной технологии мониторинга и поддержки принятия оперативных решений по управлению экологической безопасностью в системе муниципального экологического мониторинга атмосферного воздуха.

На примере урбосистемы промышленного города Кременчуг разработана программа постоянного контроля и наблюдения (мониторинга) за загрязнением атмосферного воздуха на соответствие содержания загрязняющих веществ

нормам ПДК, интегрированную с существующей системой наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, мониторинг, система, управление, атмосферный воздух, качество, наблюдения, информационно-аналитическая система, информационная технология мониторинга.

## ABSTRACT

**Bakhariev V.S. Integrated system of environmental monitoring of urbosystem atmospheric air. – Qualifying scientific work on the manuscript right.**

Thesis for a Doctor of Technical Sciences Degree by specialty 21.06.01 – ecological safety. Sumy State University, 2018. Specialized Academic Council D 55.051.04.

In the dissertation work the results of scientific researches on development of integrated system of urbosystem atmospheric air environmental monitoring are given.

The basic scheme of constructing the concept of atmospheric air environmental monitoring at the municipal level has been proposed. The concept components with the allocation of goals, tasks, strategic results, static and dynamic indicators of the concept implementation have been specified.

The methodological approach to the active pollution zones definition, the use of which will allow optimize the stationary observation posts network for the atmospheric air state in order to conduct urbanized territories environmental monitoring, has been substantiated. The method of constructing a stationary posts network for monitoring the settlement atmosphere pollution, determining their number and locations has been developed. The method differs from the existing ones by allowing establish precisely the stationary observation posts number on the settlement territory regardless of the residents' number, determine the stationary posts locations with the obtaining differentiated information from the observation system.

The structure of the complex system of urbosystem atmospheric air environmental monitoring has been developed, the subsystems interaction within the framework of which provides a logical combination of their functioning peculiarities in order to provide the population with reliable and differentiated information. This is the basis for the organizational and managerial decisions making on ensuring environmental safety. The structure of the information-analytical system (IAS) of municipal atmospheric air quality monitoring and the structure of IAS components and the complex monitoring system subsystems has been proposed.

The theoretical-multiple model of the atmospheric air environmental monitoring information-analytical system at the municipal level has been developed, which includes subsystems for the ecosystem parameters monitoring, decision-making support, "parameters database - situations awareness database" information system and

allows to recognize environmentally hazardous situations operatively and to make adequate decisions regarding their correction.

The general scheme of information monitoring technology and making operational decisions support on environmental safety management in the municipal environmental atmospheric air monitoring system has been developed.

On the example of the urbosystem of the technogenically loaded town of Kremenchuk, a program of atmospheric air pollution permanent control and observation (monitoring) has been developed concerning the pollutants content correlation to the MPC norms, integrated with the existing system for atmospheric air pollution monitoring.

**Key words:** ecological safety, monitoring, system, management, atmospheric air, quality, observation, information-analytical system, information monitoring technology.

**БАХАРЄВ ВОЛОДИМИР СЕРГІЙОВИЧ**

**«КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО  
ПОВІТРЯ УРБОСИСТЕМ»**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

---

Підписано до друку 26.04.2018. Формат 60 × 90/16. Папір друкарський.

Гарнітура Times New Roman Суг. Друк ризограф.

Ум. друк. арк. 1,6. Наклад 100 прим.

Замовлення № 18477

---

Віддруковано у видавничому відділі Кременчуцького національного університету імені

Михайла Остроградського,

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20

*Рестраційне свідоцтво серії ДК №4837 від 22.01.2015 р.*

