

Предложен общий подход к моделированию пространства знаний эксперта «сверху вниз», где на первом этапе рассматриваются наиболее общие факторы (понятия, категории), а последующие этапы направлены на разворачивание и конкретизацию этих факторов до уровня отдельных количественных показателей или вероятностных оценок. Рассматривается пример построения семантического пространства риска для здоровья, которое включает как внешние факторы влияния (негативные аспекты окружающей среды), так и индивидуальные особенности (показатели уязвимости) для отдельных групп населения.

Предложенный подход может использоваться при организации базы экспертных знаний и оценивания рисков в тех случаях, когда необходимо анализировать большие объемы статистической информации и принимать решения с учетом субъективного опыта, приобретенного экспертами.

1. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
2. *Петренко В.Ф.* Психосемантика сознания. М.: Изд-во МГУ, 1988. – 230 с.
3. *Налимов В.В.* Спонтанность сознания: Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. - М.: «Прометей», 1989. – 288с.
4. *Большаков А. М., Крутько В. Н., Пуццлло Е. В.* Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.
5. *Каменева И.П.* Вероятностные модели репрезентации знаний в интеллектуальных системах принятия решений // Искусственный интеллект. - 2005. - № 3. С. 399-409.
6. *Каменева І.П.* Просторово-семантичні моделі репрезентації знань в геоекологічних дослідженнях // Геоінформатика. - 2005. - № 4. С. 64-69.
7. *Шмелев А. Г.* Психодиагностика личностных черт. СПб: Речь, 2002. – 480 с.

Поступила 2.10.2013р.

УДК 504.064:303.732:519.7

О.О.Попов, м. Київ

КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ДОВКІЛЛЯ

Abstract. The author examined conceptual methodological aspects of modeling large dynamic system „nuclear station – the environment” on the basis of a systems analysis. The questions of construction (selection) of mathematical models of the spread of pollutants in the subsystems of the environment and the accuracy of the calculations are considered. A list of typical models used to describe the given dynamical system is presented.

Вступ

Як показує аналіз світових та вітчизняних проблем атомної енергетики, її становлення та розвиток створюють суттєві негативні впливи на об'єкти навколишнього природного середовища (НПС). Множини зв'язків, що виникають при будівництві та експлуатації атомних станцій (АС) і підприємств інфраструктури ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) на сучасному рівні їх розвитку досягли такої складності, що в багатьох випадках не забезпечують дотримання умов щодо стану техногенно-екологічної безпеки, створюють складні соціально-екологічні та економічні проблеми для розвитку енергетичної галузі.

Один із шляхів виходу з цього складного становища полягає у: пошуку нових підходів до вирішення питань управління екологічною безпекою, вдосконаленні наявних систем комплексного екологічного моніторингу зон впливу АЕС, розробці превентивних заходів попередження надзвичайних ситуацій (НС) для зменшення збитків у разі їх виникнення. Новим підґрунтям для цієї методології повинні стати нові технічні системи інформаційного забезпечення, що базуватимуться на постійно діючих моделях, створених для зон впливу АС. Вони повинні забезпечити вдосконалення системи комплексного моніторингу довкілля та оптимізацію управлінських рішень на основі вдосконаленої методології аналізу ризиків. Вирішення зазначених задач повинно забезпечуватися шляхом використання та впровадження сучасних можливостей комп'ютерної техніки із застосуванням ПС-технологій, систем передачі, збору і аналізу інформації.

Успішному вирішенню цих задач сприятиме впровадження сучасних методів системного аналізу, оцінювання ризиків та математичного моделювання та прогнозування, розглянуті для задач проектування, будівництва та експлуатації АС в нормальних умовах та при аварійних ситуаціях [1, 6].

Порівняння можливостей моніторингу та моделювання

Масштаби радіаційного моніторингу неминуче обмежені даними, що отримує певна кількість постів спостереження, які не завжди здатні забезпечити об'єм усіх найважливіших забруднених територій, що обумовлює неповну картину забруднення території, прилеглої до АС. Ніяка програма моніторингу, як би добре вона не була профінансована і спланована, не здатна забезпечити отримання всеосяжних кількісних просторово-часових характеристик забруднення від АС. Таким чином, використання лише даних точкових вимірювань концентрації забруднювальних речовин на постах спостереження за забрудненням не дає можливості компетентним органам повною мірою ухвалювати ефективні управлінські рішення щодо забезпечення потрібного стану екологічної безпеки на території прилеглої до АС [1, 6].

При управлінні радіоекологічним ризиком результати радіоекологічного моніторингу можуть виявитись неадекватними, якщо [5]:

- точки експозиції просторово ізольовані від точок моніторингу (наприклад, у разі переходів від одного середовища до іншого або транспорту хімічної речовини);
- аналітичні дані охоплюють лише частину тих домішок, які дійсно присутні в тому або іншому оцінюваному об'єкті, причому вони прив'язані до конкретного поста спостереження, а число постів є недостатнім;
- часовий розподіл даних відсутній (типовою ситуацією є збір даних про якість навколишнього середовища за обмежений інтервал часу; такі дані добре характеризують умови на момент дослідження, проте не відображають тривалі або дуже короточасні дії);
- дані моніторингу обмежені межею кількісного визначення радіоактивної речовини в середовищі.

Для вирішення цієї проблеми на сьогодні широко використовують математичне моделювання забруднення в різних середовищах (повітрі, ґрунті, воді тощо) від різних потенційно небезпечних джерел.

У табл. 1 наведено порівняльні оцінки можливостей моніторингу та методів моделювання, що застосовуються при вирішенні базових задач забезпечення екологічної безпеки довкілля [7].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика моніторингу і моделювання розповсюдження забруднювальних речовин як інструментів для оцінки стану екологічної безпеки

Задача	Ефективність	
	Моніторинг	Моделювання
Оцінка фактичних концентрацій	Висока	Низька
Системи попередження про різке підвищенні рівня забруднення	Висока	Низька
Оцінка мінливості в часі	Висока	Висока
Оцінка мінливості в просторі	Низька	Висока
Оцінка концентрацій в майбутньому	Низька	Висока
Визначення внеску джерел забруднення	Низька	Висока

Як видно з табл. 1, моніторинг і моделювання є засобами, що доповнюють один одного. За їх допомогою здійснюють розробку стратегії управління показниками екологічної безпеки навколишнього середовища.

Особливості моделювання системи „АС-НПС”

Методи моделювання на сучасному етапі знайшли найбільший розвиток при аналізі природно-техногенних систем та виконанні прогнозів. У задачах прогнозу поширення забруднень в підсистемах НПС часто виникають труднощі, що пов'язані насамперед із складністю і різноманіттям природних явищ переносу і трансформації інгредієнтів в елементах середовища, недостатньою вивченістю реальних механізмів цих процесів, відсутністю необхідних даних режимних спостережень [8, 9].

У випадку дослідження природно-техногенної системи (ПТС) типу „АС-НПС”, остання розглядається як об’єкт реального світу з множиною складових його елементів і взаємозв’язків між ними, що підпорядковуються певним, але до кінця не визначеним законам композиції, за реакціями яких з відповідним рівнем деталізації виконуються прогнозні оцінки. Точність цих прогнозів залежить від наявних даних. Ці дані отримують шляхом експериментальних досліджень, розрахунків параметрів або експертних оцінок, виходячи з існуючих знань та уявлень про об’єкти цієї системи, зв’язки та процеси між ними.

Виходячи з наведеного, необхідно чітко уявляти, що при дослідженні систем типу „АС-НПС” результати прогнозних оцінок і визначення параметрів ніколи не будуть лежати у класі точних оцінок. Фактично всі отримані результати є деяким наближенням до реальних значень, достовірність яких залежить від множини чітко невизначених змінних параметрів.

Лабораторні або натурні експерименти, що здійснюються з метою аналізу стану ПТС, не можуть дати повної інформації про об’єкт досліджень і завжди носять елементи деякої абстракції, а їх виконання пов’язане з витратою значних коштів. Тому методологія досліджень щодо умов функціонування систем такого типу повинна базуватися на комбінованому застосуванні методів математичного моделювання та аналізу логіко-інформаційних моделей (ЛІМ) [3, 8].

Виходячи з аналізу розвитку атомної галузі щодо питань стійкого функціонування та екологічної безпеки її об’єктів, типовими задачами, при розв’язанні яких застосовуються методи математичного моделювання та прогнозування, є [1, 5, 6]:

- задачі класифікації території та районування для вибору місць розміщення АС і обґрунтування систем комплексного моніторингу (виконуються на різних стадіях проектування та будівництва АС);

- задачі пов’язані з обробкою радіоекологічних і геодинамічних даних, що отримують в процесі моніторингових спостережень на всіх стадіях роботи АС та об’єктів ЯПЦ;

- прямі та обернені задачі поширення радіоактивних забруднень в підсистемах навколишнього природного середовища (атмосферне повітря, ґрунти, поверхневі та підземні води, біота та харчові ланцюги), що виконуються для прогнозування розвитку небезпечних процесів та впливів в штатних і аварійних режимах роботи АС та об’єктів ЯПЦ;

- задачі, пов’язані з оцінкою впливів негативних чинників роботи АС на населення прилеглих територій і персонал та оцінкою ризику для здоров’я, що розв’язуються для обґрунтування превентивних заходів безпеки в штатних умовах експлуатації АС та ЯПЦ;

- задачі прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій, пов’язаних з радіаційними аваріями на АС та об’єктах ЯПЦ, що розв’язуються для

обґрунтування заходів ліквідації наслідків аварій та захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Використання системного аналізу для дослідження впливу АС на довкілля

Базовим принципом при дослідженні проблем екологічної безпеки і оцінювання екологічного ризику має бути принцип системності, який дає можливість глибоко зрозуміти проблему в цілому. Системний аналіз дозволяє чітко сформулювати проблему на концептуальному рівні, перевести її з розряду неструктурованих до розряду структуровано-формалізованих модулів, що дозволяє для роботи з ними залучати математичний апарат та додаткову інформацію, яку формує дослідник системи.

При дослідженні складних систем із застосуванням методу системного аналізу, як правило, передбачається конкретна послідовність дій (рис. 1).

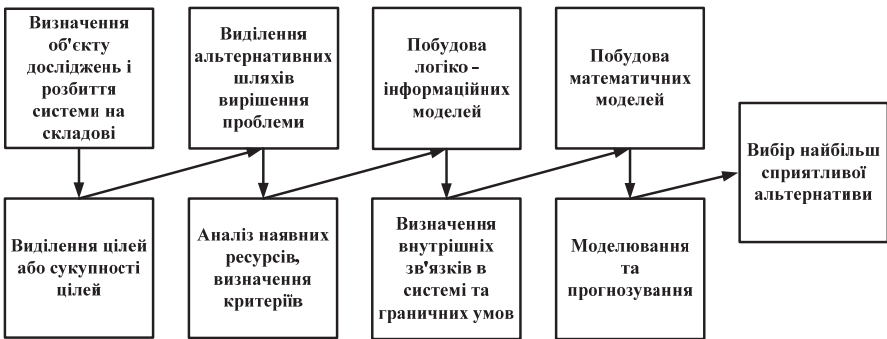


Рис. 1. Схема послідовності дій при системному аналізі, яку запропоновано до використання при дослідженні системи „АС-НПС”

Перш за все, із зовнішнього середовища необхідно виділити систему, що досліджується, і визначити для неї сукупності послідовних, логічних кроків, які визначають етапи розгляду проблеми. У загальному випадку система має ієрархічну структуру, тобто складається з підсистем більш високого порядку, які мають свої власні цілі та засоби досягнення цих цілей.

Будь-яка система існує в певному оточуючому середовищі, яке являє собою сукупність об'єктів, зміни властивостей яких утворюють вплив на систему. Окремі об'єкти під впливом системи можуть змінювати свої властивості.

Система завжди має певні границі (природні, штучно створені або встановлені дослідником) [2, 10].

Далі наведемо принципи побудови узагальненої концептуальної схеми складної природно-техногенної системи типу „АС-НПС” та узгодимо її з сучасними математичними підходами, що напрацьовані для дослідження складних динамічних систем, наведемо основні положення математичної

формалізації такої системи.

Як відомо з [2], декартовим добутком ряду множин називається множина наборів елементів x_1, x_2, \dots, x_n для яких виконується умова, що $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$. На цьому рівні абстрагування термін „система” визначається як деяке відношення R , що описане на декартовому додатку множин. Можна задати: $X_s \in X$, де $X = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$; а групу співвідношень R , як $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$. Якщо у ці співвідношення ввести додаткові обмеження, то можна прийти до абстрактно-алгебраїчних структур: груп, напівгруп, модулів тощо. За їх допомогою можна описувати ті чи інші системи.

Реальні ПТС типу „АС-НПС” є динамічними. Це можна представити як структурований об’єкт, в якому в певні проміжки часу входить та виводиться речовина, енергія, інформація, змінюються деякі параметри системи. Динамічні процеси можна поділити на неперервні або такі, що протікають у дискретні проміжки часу. Ці обидва випадки передбачають, що поведінку системи можна аналізувати на деякому інтервалі часу, а це визначає її динамічність (зміну деяких властивостей системи у часі, тобто $S_s = f(t)$).

Передбачається також, що в системі вхідні впливи $\sum_{\text{вхід}} u(t)$ не можуть бути довільними (наприклад, нескінченно великими). Вони належать до обмеженої множини значень, таких що відповідають умові $u(t) \in U$. Аналогічним чином визначені виходи з системи $y(t)$, які також належать фіксованій множині $y(t) \in Y$. Більш того, передбачається, що виходи не можуть бути вільними за характером своїх змін, а входять у обмежений і визначений клас функцій G , які діють у інтервалі часу $t \in T$.

Стан системи описується:

- внутрішніми властивостями системи, що мають значення $x(t_1) \in X$;
- значеннями вхідного сигналу $u(t_1) \in U$, що діє в момент часу t_1 ;
- значеннями вихідного сигналу $y(t_2)$ у деякий наступний момент часу t_2 .

Стан системи на інтервалі часу від t_1 до t_2 можна представити у вигляді $y(t_2) = \eta(x(t_1), u(t_1), t_2)$, де η – заданий функціональний зв’язок між змінними, що зазначені в дужках. Заданням параметру η визначається множина Γ можливих значень вихідних функцій $y(t)$.

Термін „динамічна система” (рис. 2) передбачає визначення її стану $x(t_2)$ в наступний момент часу t_2 , що базується на основі знань стану системи $x(t_1)$ в попередній момент часу t_1 , та знань щодо параметрів вхідного сигналу $u(t_1)$, тобто: $x(t_2) = \varphi(x(t_1), u(t_1), t_2)$, де φ – заданий функціональний зв’язок між зазначеними змінними.

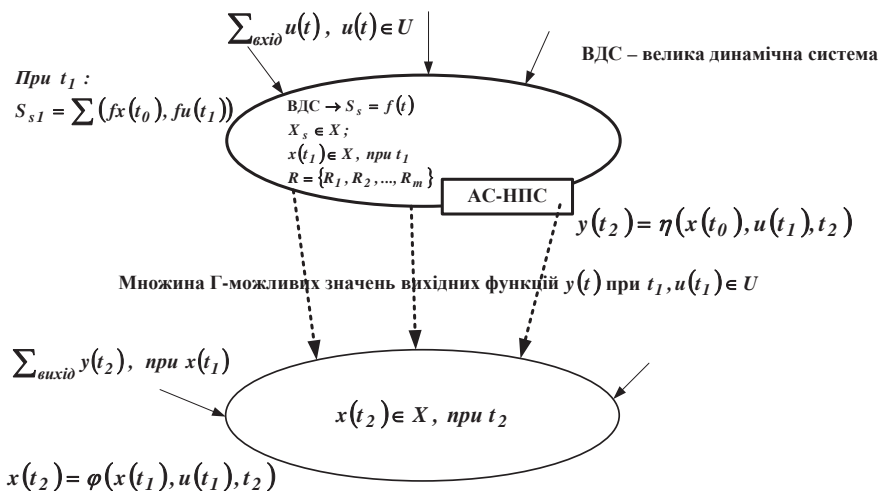


Рис. 2. Принципова схема математичної формалізації динамічної системи із зовнішніми входами, виходами і внутрішніми зв'язками

Таким чином, узагальнена математична модель динамічної системи „АС-НПС” складається з функціонально пов'язаної групи описаних вище величин: $S_s = f(T, X, U, G, Y, \Gamma, \eta, \varphi)$.

Практичне застосування наведеної моделі для задач екологічного прогнозування здійснюється шляхом оцінки майбутнього стану екосистеми, якщо задані параметри початкового стану, граничні умови, впливи зовнішніх чинників та інші обмеження щодо умов формалізації (лінійність, стаціонарність тощо). При цьому, для досліджуваної ПТС „АС-НПС” здійснюють математичну схематизацію і параметризацію природно-техногенних умов, будують логіко-інформаційні моделі (ЛІМ), формують спеціальні банки даних, що враховують дані моніторингових спостережень та алгоритми вибору управляючих впливів [10].

Систему типу „АС-НПС” можна обґрунтовано віднести до великих динамічних систем – S_s (ВДС), якими, згідно [4], є керовані системи, що складаються з сукупності взаємопов'язаних підсистем, об'єднаних загальною ціллю функціонування.

Математичною моделлю системи є математичні співвідношення (рівняння, нерівності та ін.), які описують взаємозв'язки суттєвих характеристик системи та надають нову інформацію про неї, що дозволяє розв'язувати задачі прогнозу розвитку системи або окремих її складових. Математична формалізація такої системи здійснюється за правилами, наведеними вище для опису динамічних систем.

Об'єкти – частки або компоненти системи, властивості – якісні параметри об'єктів, зв'язки – це те, що з'єднує об'єкти (підсистеми та й самі

системи) та їх властивості в системному процесі у єдине ціле. В процесі розв'язання задач на основі додаткової інформації (дані моніторингу, спеціальні дослідження, експертні оцінки) необхідно визначити суттєві зв'язки та такі, що не впливають на стійкість системи [8, 9].

При моделюванні процесів в системі „АС-НПС” її доцільно поділити на блоки, в яких для досліджень використовують напрацьовані методи моделювання, що можуть використовувати як детерміновані так і ймовірнісні складові окремих процесів, при цьому за допомогою методу самоорганізації можуть будуватися і досліджуватися окремі моделі і зв'язки між ними.

На рис. 3 зображено принципову схему ЛІМ, що висвітлює напрями створення математичних моделей для оцінки ризиків від забруднень у підсистемах НПС з урахуванням сценаріїв впливу.

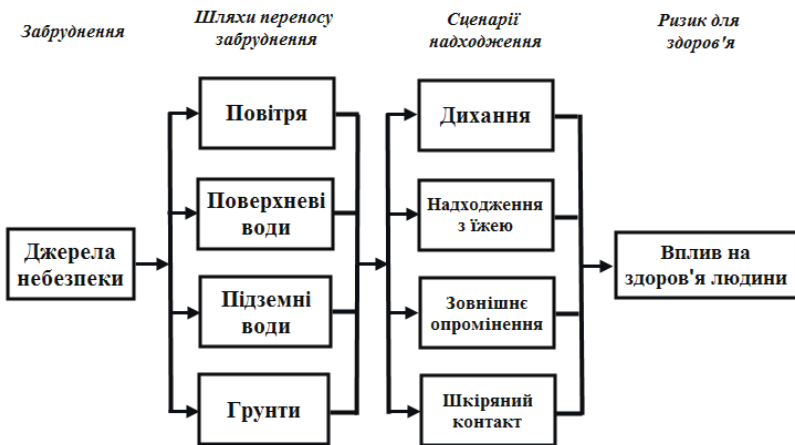


Рис. 3. Блоково-модульна ЛІМ, що описує шляхи впливу забруднень АС на здоров'я людини

У дану ЛІМ включені: техногенна складова – джерела небезпеки (АС та об'єкти ЯПЦ), види забруднень; природні підсистеми – повітря, поверхневі води, підземні води, ґрунти, які розглядаються середовищами переносу забруднень із складними шляхами міграції хімічних та радіаційних речовин, органічно пов'язаних з ланцюгами життєзабезпечення людини (диханням, надходженням з їжею, зовнішнім опроміненням та безпосереднім шкіряним контактом). Для кожного з її модулів використовуються типові математичні моделі та методи їх реалізації.

Побудова моделей розповсюдження хімічних речовин базується на даних про джерела і викиди забруднювачів, а також метеорологічної та географічної інформації. Точність розрахунків залежить від якості вихідної

інформації, досконалості моделювання фізичних і хімічних явищ, наявності обчислювальних помилок вибраної моделі, мінливості стану підсистем НПС. Вибір моделі розрахунку забруднення об'єктів навколишнього середовища для цілей оцінки ризику проводиться за її здатністю визначати не тільки максимальні рівні забруднення, але й усереднені на заданий період експозиції, а також максимально враховувати всі чинники, що впливають на розповсюдження забруднення. Розрахункові методи дозволяють одержати повноцінну модель забруднення об'єкта навколишнього середовища з можливістю його оцінки в будь-якій точці простору, що вивчається [5, 8, 9].

Моделі можуть відрізнятися між собою за принципами отримання, використання та обробки інформації про структуру об'єктів досліджень, їх динамічні характеристики, умови взаємозв'язків між підсистемами та джерелами впливів.

За масштабами територіального розподілу впливів „АС-НПС” моделі можуть поділятися на глобальні, регіональні, об'єктові, а також можуть бути „моделі-врізки”, або моделі окремих процесів (явищ, зв'язків). Для окремих потенційно небезпечних важливих об'єктів, на час їх проектування та експлуатації можуть створюватися постійно діючі моделі.

Для описання системи „АС-НПС” використовуються наступні типові моделі [1, 5, 8]:

- джерел небезпеки;
- розповсюдження речовин-забруднювачів у поверхневих та підземних водах, ґрунтах, атмосферному повітрі;
- забруднення в продуктах харчування (м'ясо, молоко, риба, рослинна їжа та інші);
- шляхів надходження доз у людину (зовнішнє опромінення, шкіряні контакти, внутрішнє опромінення, шляхи дихання);
- оцінки індивідуальних та колективних доз і ризиків (для канцерогенів) та квот небезпеки (для неканцерогенних – токсичних впливів).

Таким чином, математичне моделювання екологічних процесів і прогнозування стану екологічної небезпеки в системі „АС-НПС” є ефективним інструментом для забезпечення стійкого функціонування об'єктів атомної енергетики, аналізу ризику виникнення НС, обґрунтування і підтримки управлінських рішень в штатних та аварійних ситуаціях та підвищення економічної ефективності моніторингових досліджень.

Висновки

1. На основі аналізу можливостей радіоекологічного моніторингу обґрунтовано потребу використання методів та засобів моделювання для

ефективного управління екологічною безпекою в районах розташування радіаційно небезпечних об'єктів.

2. Виходячи з аналізу розвитку атомної галузі щодо питань стійкого функціонування та екологічної безпеки її об'єктів, визначено типові задачі, при розв'язанні яких застосовуються методи математичного моделювання та прогнозування.

3. З позицій методології системного аналізу об'єкти взаємодії „АС-НПС” ідентифіковано як велику динамічну систему, для якої побудовано принципову схему математичної формалізації із зовнішніми входами, виходами і внутрішніми зв'язками. На основі системного аналізу запропоновано схему послідовності дій для дослідження системи „АС-НПС”.

4. Представлено принципову схему логіко-інформаційної моделі, що висвітлює напрями створення математичних моделей для оцінки ризиків від забруднень у підсистемах НПС з урахуванням сценаріїв впливу.

5. Розглянуто основні аспекти побудови (вибору) математичних моделей розповсюдження забруднюючих речовин в підсистемах НПС та точності розрахунків. Наведено типові моделі, що використовуються для описання системи „АС-НПС”.

1. Анализ радиационной и экологической безопасности окружающей среды в районах расположения АЭС Украины: Отчет о НИР (промежуточ.) / Укр. НИИ экологич. проблем. – Харьков, 2007. – 301 с.
2. *Згуровський М.З.* Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: ВНУ, 2007. – 544 с.
3. *Зыков А.А.* Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
4. *Лернер А.Я.* Начала кибернетики / А.Я. Лернер. – М.: Наука, 1967. – 400 с.
5. *Лисиченко Г.В.* Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. – О.: Астропринт, 2011. – 368 с.
6. *Махонько К.П.* Контроль за радиоактивным загрязнением природной среды в окрестностях АЭС / К.П. Махонько, А.Н. Силантьев, И.Г. Шкуратова. – Л.: Гирометеоиздат, 1985. – 136 с.
7. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. – 2001. – №85. – 293 с.
8. *Свирижев Ю.М.* Математические модели в экологии / Ю.М. Свирижев // Число и мысль. – Вып. 5. – М.: Знание, 1982. – С. 16-55.
9. *Сысуев В.В.* Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах / В.В. Сысуев. – М.: Наука, 1986. – 278 с.
10. *Хміль Г.А.* Оцінка потенційної техногенної та природної небезпеки територій України на основі системного аналізу / Г.А. Хміль // Екологія і ресурси. – К.: ІПНБ, 2007. – Вип 17. – С. 54-65.

Поступила 9.10.2013р.