

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КОМПЛЕКСНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2018, 2(53): 28–35
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2018.02.028>

УДК 621.311.183

С.І. АЗАРОВ¹, д-р техн. наук, ст. наук. співр., **В.Л. СИДОРЕНКО**²,
канд. техн. наук, доц., **О.С. ЗАДУНАЙ**³

¹Інститут ядерних досліджень НАН України,
пр-т. Науки, 47, м. Київ, 03680, Україна

²Інститут державного управління у сфері цивільного захисту,
вул. Вишгородська, 21, м. Київ, 04074, Україна

³Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку
та захисту інформації, вул. Залізняка, 6, м. Київ, 03142, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

Обґрунтовано доцільність застосування прикладного системного аналізу для дослідження поведінки з радіоактивними відходами в Україні. Адаптовано процедури аналізу. Визначено послідовність його проведення. Приведено системно-структурну ідентифікацію радіаційно небезпечних об'єктів. Визначено групи параметрів для моделювання та здійснено добір даних для їх обчислення.

Ключові слова: системний аналіз, радіаційно небезпечний об'єкт, радіоактивні відходи, АЕС.

В Україні діють радіаційно небезпечні об'єкти (далі – РНО), на яких досі продовжують накопичуватися радіоактивні відходи (далі – РАВ) різного виду. Однією з найважливіших умов подальшого розвитку РНО є розв'язання проблеми безпечного поведінки з РАВ.

До РАВ належать «матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені діючими нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається» [1]. РАВ утворюються в рамках широкого спектра видів діяльності, в яких застосовуються різні радіоактивні матеріали, пов'язані, наприклад, з експлуатацією ядерних установок, використанням закритих радіоактивних джерел в промисловості, застосуванням антропогенних радіонуклідів у лікарнях і лабораторіях, а також зняттям таких установок з експлуатації, видобутком корисних копалин, виробництвом мінеральних добрив тощо. Велике розмаїття РАВ зумовлює значні відмінності процесів поведінки з ними. Об'єм утворення РАВ, їх номенклатура, типи та види (морфологіч-

ний та радіонуклідний склад, активність, інші фізико-хімічні характеристики) залежать від видів практичної діяльності.

Основні принципи державної політики у сфері поведінки з РАВ визначено Законом України «Про поведінку з радіоактивними відходами» та Державною програмою поведінки з радіоактивними відходами, що затвердженою постановою Кабінету Міністрів України № 2015 від 25 грудня 2002 р. Відповідно до принципів державної політики визначено такі основні напрями діяльності [2, 3]: централізація розміщення установок з поведінки з РАВ та їх сховищ; перетворення зруйнованого четвертого енергоблока Чорнобильської АЕС на екологічно безпечну систему; створення і функціонування єдиної державної системи обліку та контролю РАВ; створення геологічного сховища для захоронення довгоіснуючих та високоактивних РАВ; розроблення нових та впровадження передових технологій поведінки з РАВ; науково-технічна та інформаційна підтримка робіт у сфері поведінки з РАВ; розвиток нормативно-правової бази з питань поведінки з РАВ; розширення міжнародного співробітництва у сфері поведінки з РАВ.

© С.І. АЗАРОВ, В.Л. СИДОРЕНКО, О.С. ЗАДУНАЙ, 2018

За останнє десятиліття в Україні прийнято законодавчі акти загального характеру, спрямовані на забезпечення ядерної та радіаційної безпеки. Вони містять не тільки загальні положення правової системи щодо запобігання шкідливого впливу господарської та іншої діяльності, а й окремі положення, що стосуються дотримання безпеки в процесі поводження з РАВ [4, 5]. Ряд положень законів [6, 7] відображає існуюче в Україні прагнення до гармонізації підходів до дотримання безпеки при поводженні з РАВ з прийнятими міжнародною спільнотою принципами і критеріями безпеки.

За роки незалежності в Україні проведено певну роботу з розбудови загальнодержавної системи поводження з РАВ. Прийнято основні закони, розроблено необхідні нормативні документи, що регулюють діяльність фізичних, юридичних осіб і органів державного управління. Однак далеко не всі проблеми знайшли належне розв'язання. Вони рівною мірою супроводжують діяльність, пов'язану з поводженням як з відходами ядерної енергетики, так і з РАВ техногенного походження. Серед проблем, що необхідно розв'язати для суттєвого покращення стану справ у сфері поводження з РАВ, можна виділити загальнодержавні, нормативно-правові, міжвідомчі та технічні.

Таким чином, зміни правової основи вимагають створення сучасної системи нормативного регулювання безпеки при поводженні з РАВ, тобто створення сукупності наукових, технічних і організаційних принципів, критеріїв і вимог дотримання безпеки при поводженні з РАВ, що відповідають чинному законодавству України, сучасному стану науки і техніки та світосприйнятті безпеки.

Сучасний стан наявних в Україні РАВ. В Україні РАВ (ядерні і радіоактивні речовини, РАВ та джерела іонізуючого випромінювання) є в наявності на чотирьох АЕС, у шести сховищах державних міжобласних спеціалізованих комбінатів «Радон», п'яти сховищах військово-промислового комплексу, в 30-кілометровій Зоні відчуження ЧАЕС, в пунктах перебування відходів дезактивації, у медичних установах, промислових підприємствах та науково-дослідних лабораторіях (рис. 1).



Рисунок 1. Схема розміщення РНО в Україні

Основними виробниками РАВ є атомні електростанції. У середньому на українських АЕС на 1 млрд кВт·год виробленої електроенергії, залежно від типу реактора, утворюється до 27 м³ твердих РАВ (далі – ТРВ) та 35 м³ рідких РАВ (далі – РРВ) [8].

На майданчиках АЕС експлуатуються штатні сховища тривалого зберігання низько-, середньо- та високоактивних ТРВ, сховища тривалого зберігання РРВ, установки сортування ТРВ, установки спалювання ТРВ та мастил, пресування ТРВ, глибокого упарювання, дезактивації обладнання. Відпрацьоване ядерне паливо (далі – ВЯП) реакторів ВВЕР-440 і ВВЕР-1000 АЕС України після зберігання в басейнах витримки, які є на кожному енергоблоці АЕС, повинні вивозитися до Чорнобильської зони в Централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива (далі – ЦСВЯП). Виключення становить Запорізька АЕС, на майданчику якої споруджено сховище для «сухого» контейнерного зберігання ВЯП ВВЕР-1000 [9]. Всього на діючих реакторах ВВЕР-440 та ВВЕР-1000, з урахуванням продовження проектного терміну їх експлуатації на 20 років, може бути напрацьовано до 17 500 т ВЯП.

Відповідно до українського законодавства [5] РАВ тимчасово зберігаються у виробника до передачі на захоронення. Для тимчасового зберігання РАВ служать спеціальні об'єкти (сховища), що забезпечують їх ізоляцію від навколишнього середовища, фізичний захист і радіаційний моніторинг, а також можливість подальшого вилучення, переробки, перевезення та захоронення. Проектом АЕС передбачається спорудження сховищ для тимчасового зберігання РАВ різних типів та категорій. Об'єм сховищ має забезпечувати зберігання проектних об'ємів РАВ, що утворюються протягом проектного терміну експлуатації АЕС. Приймаючи рішення про можливість продовження терміну експлуатації енергоблоків, враховують наявність достатніх вільних об'ємів ВЯП.

У процесі зняття з експлуатації ЧАЕС у ході поточної підготовчої стадії споруджуються і вводяться в експлуатацію об'єкти для поводження з РАВ, накопичених на ЧАЕС і утворення яких очікується при знятті станції з експлуатації [10–12]. Приблизно 2500 т ВЯП утворилось в ході експлуатації реакторів РВПК-1000.

В ОУ і на його промайданчику зосереджено від $4,0 \times 10^5$ до 174×10^4 м³ РАВ. Станом на початок 2015 р. їх загальна активність становила приблизно $4,1 \times 10^{17}$ Бк (перераховано на основі даних [13]). Понад 10% загального обсягу РАВ ОУ є високоактивними відходами, переважні обсяги яких представлено бетоном, металевими конструкціями та обладнанням, матеріалами засипки шахти реактора. Близько 2800 т високоактивних відходів являють собою паливомісткі матеріали, в тому числі: лавоподібні паливомісткі матеріали, фрагменти активної зони реактора, реакторний графіт, паливний пил. В ОУ відбувається постійне накопичення вод атмосферного, ґрунтового, конденса-

ційного та технологічного походження. У результаті взаємодії води з радіоактивними матеріалами утворюються РРВ. З приміщень ОУ, до яких є доступ, щорічно відкачується до 900 м³ РРВ, які транспортуються до системи переробки і зберігання РРВ на ЧАЕС [14].

Станом на 2016 р. загальна кількість РАВ в Зоні відчуження (без ОУ) складає близько 2,8 млн м³. З них в пунктах захоронення РАВ та пунктах тимчасової локалізації РАВ знаходяться понад 2,0 млн м³ РАВ із загальною активністю близько $7,4 \times 10^{15}$ Бк [15]. Загальна активність радіоактивних речовин у природних об'єктах Зони відчуження (у поверхневому шарі ґрунту, донних відкладах водойм, рослинності тощо) становить понад $8,5 \times 10^{15}$ Бк [15]. Загальний обсяг радіоактивно забруднених матеріалів, зосереджених в Зоні відчуження, сягає 11 млн м³ [13].

В Україні знаходиться уранодобувна і переробна промисловість, де накопичено близько 65 млн т твердих низькоактивних відходів. За даними МОЗ України [16] в країні налічується близько п'яти тисяч підприємств, установ і організацій, де використовують різні джерела іонізуючого випромінювання. У лікувально-профілактичних установах експлуатуються 10280 рентгенодіагностичних, 254 рентген-терапевтичних і 118 гамма-терапевтичних установок, 6 медичних ізотопних апаратів.

На промислових підприємствах використовують 550 гамма-дефектоскопів і радіоізотопні прилади: перша група – 85000, друга – 5200, третя – 15000, установки для опромінення з джерелом ⁶⁰Co, термоелектричні установки з джерелом ⁹⁰Sr і пересувні установки для геологорозвідувальних цілей з джерелом ²⁴¹Am/Be тощо. Середньорічна сумарна активність радіоактивних матеріалів та джерел у промислових і медичних цілях може складати близько 10^{16} Бк, що не виключає виникнення радіаційних аварій, пов'язаних з радіоактивним забрудненням довкілля і опроміненням персоналу і населення в цілому. У таблиці наведено загальний обсяг ТРВ, накопичених у нашій державі.

Аналіз даних таблиці доводить, що в Україні підлягають захороненню від 3,3 до 4,6 млн м³ РАВ. З них від 2,9 до 4,2 млн м³ мають чорнобильське походження і знаходяться в Зоні відчуження. Отже їх частка складає близько 90% за об'ємом і

приблизно 10–15% за активністю від загального об'єму і активності РАВ в Україні. Більшість відходів (до 97–98%) можуть бути захоронені у поверхневих сховищах і лише близько 75000 м³ РАВ належать до типу довгоіснуючих, отже мають бути захоронені у геологічному сховищі.

Основні напрями системного підходу в сфері поводження з РАВ. На сьогодні існує досить велика кількість критеріїв і ознак, за якими можуть бути класифіковані РАВ. Прийнята класифікація РАВ, що діє на території держави, зазвичай закріплюється в нормативній документації. Проте існують загальні підходи до класифікації, що формуються МКРЗ і МАГАТЕ [17–19]. Зокрема, МАГАТЕ рекомендовано класифікацію за ступенем небезпеки РАВ для людини. Відповідно до цього виділяються три категорії РАВ: безпечні; відходи, що мають низький і середній рівень активності; відходи високої активності. На практиці в Україні всі РАВ можна розділити на категорії залежно від концентрації радіоактивних елементів і часу, протягом якого вони зберігають свою радіоактивність. Для кожної категорії прийнято свої методи збору і видалення. Виділяють наступні категорії РАВ: низькоактивні, середньоактивні та високоактивні відходи.

Відповідно до загальноприйнятих принципів у всіх країнах порядок поводження з РАВ регламентовано національним законодавством і міжнародними угодами. РАВ після їх утворення, з метою зменшення небезпеки і економічної обґрунтованості, піддаються ряду процесів перетворення і переміщення перед їх довготривалим зберіганням або остаточним захороненням. Послідовність процесів може відрізнятися, але майже завжди вона включає збір і сортування РАВ за категоріями, обробку та зменшення обсягу, кондиціонування, транспортування, зберігання або захоронення. Для поводження з РАВ використовуються власний персонал підприємств, а також спеціалізовані організації, що мають ліцензію на певний (наприклад, транспортування) або на всі види діяльності щодо поводження з РАВ. Проблеми поводження з РАВ – комплексні та вимагають врахування численних чинників. Для вирішення таких проблем доцільно використовувати системний підхід, що має загальнонаукове значення. Системний підхід – наукова методологія цілеутворюючої людської діяльності.

Таблиця – Загальні обсяги ТРВ, накопичених в Україні

Місце знаходження РАВ	Обсяг, тис. м ³	Відсоток загального обсягу
ЗАЕС, ПУАЕС, ХАЕС, РАЕС	33,2	1,2
1, 2, 3 блоки ЧАЕС	2,5	0,15
ОУ	600	22,0
Зона відчуження	1910	70,1
Пункти захоронення відходів дезактивації	171	6,3
Сховища спецкомбінатів УкрДО «Радон»	5,0	0,2
Дослідницький ядерний реактор (м. Київ)	3,0	0,14

Системний підхід в аналізі у сфері поводження з РАВ базується на виділенні та дослідженні структури систем. Суттєвою перевагою системно-структурної парадигми є те, що вона дає змогу чітко виділити системоутворюючі критерії та зумовлені ними морфологічні ознаки системи поводження з РАВ, що досягається за рахунок зміни ракурсу дослідження з ендогенного на екзогенний. Такими критеріями виступають наявні у системі базові просторові та часові обмеження. Застосування системного підходу в будь-якій практичній діяльності полягає в методологічній орієнтації на розкриття цілісності об'єкта, відносин і зв'язків його елементів, а також механізмів їх реалізації [20].

Грунтуючись на системному підході, всі об'єкти в Україні, на яких утворюються (накопичені) РАВ та поводяться з РАВ, можна представити у вигляді системи поводження з РАВ. Мета системи є одним з найважливіших понять теорії системного підходу [21]. На початковому етапі пізнання РНО під метою розуміють ідеальні устремління, «модель бажаного майбутнього», а мірою подальшого пізнання об'єкта мета конкретизується і, послідовно, минаючи проміжні цілі, втілено в конкретні результати діяльності. У практиці реалізації комплексних проблем це означає, що розв'язувана проблема поділяється на кілька субпроблем або проміжних цілей, а останні – на ще більш окремі питання. Така програма відображає провідний задум (ідеальний образ) діяльності і є концепцією або стратегією вирішення проблеми, в даному разі – концепцією дотримання безпеки при поводженні з РАВ.

Проміжна мета такої програми – встановлення системи нормативного регулювання безпеки при поводженні з РАВ. Система поводження з РАВ в Україні з усім розмаїття джерел утворення РАВ, видів накопичених й утворюваних РАВ та видів діяльності з ними досить складна для аналізу, тому було доцільно її поділити на під-

системи і елементи. Найбільш раціональним у цілях цієї роботи був поділ всієї системи поводження з РАВ на функціональні підсистеми – групи об'єктів, на яких поводяться з РАВ, і подальший розподіл кожної з функціональних підсистем на підсистеми за видами накопичених й утворюваних РАВ (агрегатний стан, рівень активності, радіонуклідний склад тощо), що, в свою чергу, поділялися на елементи. У результаті такого розподілу системи поводження з РАВ (декомпозиції системи в просторі) її можна представити у вигляді деревовидної ієрархічної структури (рис. 2).

Розподіл системи поводження з РАВ на функціональні підсистеми – групи об'єктів, на яких здійснюється поводження з РАВ, має такий вигляд:

1. Діючі атомні станції;
2. «Сухе» контейнерне зберігання ВЯП на ЗАЕС;
3. 1–3 блоки ЧАЕС, що знімають з експлуатації;
4. ОУ;
5. СВЯП-1, СВЯП-2 (ДСП ЧАЕС);
6. ЦСВЯП;
7. ЗПРРВ, ПКПТРВ;
8. Комплекс виробництв «Вектор»;
9. Дослідницький реактор, критичні стенди і збірки, джерела іонізуючого випромінювання;
10. Об'єкти використання джерел іонізуючого випромінювання, включаючи радіоактивні речовини і вироби на їх основі, в різних галузях промисловості, медицині та сільському господарстві (радіаційно-хімічні технології, промислова дефектоскопія, промислова радіографія, радіоізотопна енергетика, медична, геофізична, ядерно-аналітична апаратура тощо);
11. Об'єкти збору, переробки, кондиціонування, зберігання і довготривалого зберігання (поховання) РАВ (система спецкомбінатів «Радон»);
12. Видобуток уранової руди (підземне вилуговування, кар'єрний та шахтний видобуток);
13. Об'єкти видобутку руд і сировини, на яких утворюються РАВ з природною радіоактивністю.

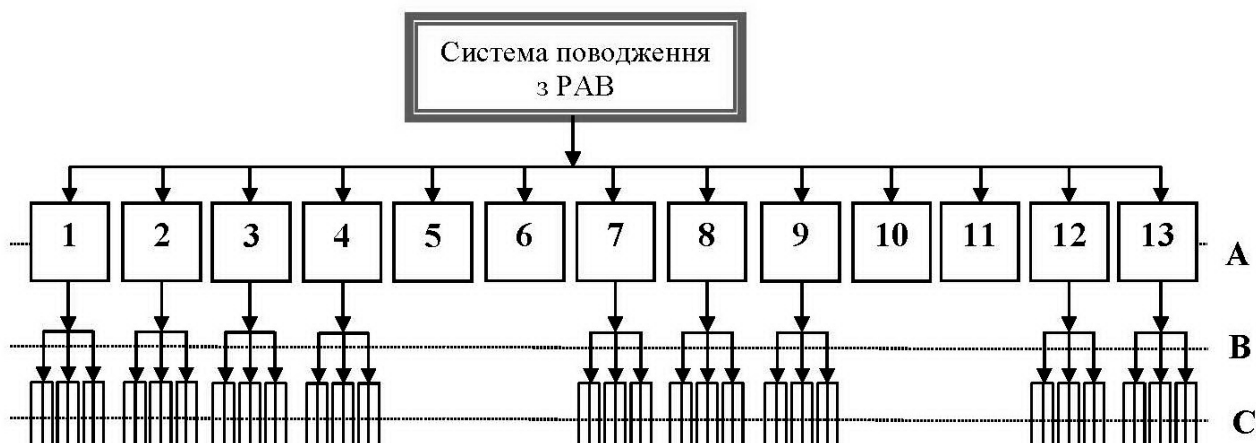


Рисунок 2. Ієрархічна структура системи поводження з РАВ:

- А – групи об'єктів, на яких утворюються (накопичуються) РАВ та здійснюється поводження з РАВ; В – види РАВ (агрегатний стан, рівень активності);
С – способи поводження (види діяльності) з РАВ, які потребують регламентації

У результаті аналізу 13 підсистем було визначено, що для регулювання безпеки всієї системи поводження з РАВ в Україні потрібно понад 20 напрямів прийняття рішень за видами РАВ та понад 45 напрямів для прийняття рішень за способами поводження з ними. Це означає, що необхідно створення такої ж кількості нормативних документів (далі – НД). Такий процес поводження з РАВ був би роздробленим, некерованим і практично не врегульованим. Системний аналіз дав змогу перейти від вербального (словесного) опису проблеми до формального – створення концептуальної мо-

делі системи безпечного поводження з РАВ, що є формалізованим представленням початкової мети – «моделі бажаного майбутнього» (рис. 3).

Концептуальна модель структурує систему поводження з РАВ з усім розмаїттям об'єктів – джерел утворення РАВ, видів РАВ та видів діяльності з ними на окремі підсистеми – етапи поводження з РАВ від їх утворення до захоронення, і тим самим дав змогу значно зменшити кількість необхідних для регулювання безпеки напрямів для прийняття рішень, тобто мінімізувати необхідну кількість НД.



Рисунок 3. Концептуальна модель системи безпечного поводження з РАВ

Системний підхід до аналізу безпечного поводження з РАВ. Для вирішення таких складних завдань як безпека під час поводження з РАВ є універсальна методика на основі системного підходу та системного аналізу. Універсальність даного системного підходу дає змогу розглядати безпеку як систему і приймати на основі цього розуміння покращуючі дії. Безумовно, процес досягнення бажаного рівня безпеки є складним завданням на майбутнє, яке в даний момент не вирішено. Це доводять недавні численні аварії на РНО. Саме тому сьогодні, як ніколи, слід звернутися до універсального системного і комплексного підходу до розв'язання ряду завдань, пов'язаних з безпекою в процесі поводження з РАВ. Для розгляду процесу безпечного поводження з РАВ з позицій системного підходу можна застосувати методологію прикладного системного аналізу.

Відповідно до системного підходу слід спочатку зрозуміти, чому безпеку поводження з РАВ можна розглядати як систему. Для цього розглянемо категорії властивостей цієї системи, які можна розділити на статичні і динамічні. Серед статичних властивостей можна виділити цілісність, відкритість, внутрішню неоднорідність системи та структурованість. Під статичними властивостями систем розуміють конкретні стани системи в будь-який, але фіксований момент часу. Цілісність системи безпечного поводження з РАВ, як одна із статичних властивостей, означає, що безпеку потрібно розуміти як єдине ціле, що відрізняється від інших систем, зокрема і систем безпеки. Під відкритістю системи розуміють її взаємодію з іншими системами або навколишнім середовищем за допомогою входів і виходів. У випадку системи безпеки в процесі поводження з РАВ це, наприклад, різноманітні входи з боку використання даного РНО або виходи, що впливають на її стан. Система безпеки неоднорідна, тобто вона має елементи різного характеру як, наприклад, технічні системи захисту, особи і організації, задіяні до і під час аварії, систему нормативних і правових приписів тощо. Також система безпеки має власну структурованість, що полягає в різних взаємозв'язках між елементами системи. Ця структурованість і створює цілісність всієї системи безпеки. Крім статичних властивостей систем, система безпеки в процесі поводження з РАВ має і динамічні властивості, тобто такі властивості, що змінюються в часі та в зв'язку з іншими змінними обставинами. До динамічних властивостей відносять функціональність, стимульованість, мінливість системи в часі та існування в мінливому середовищі. Систему безпечного поводження з РАВ спрямовано на виконання безлічі функцій – наприклад, забезпечення радіаційної безпеки під час аварії або зменшення шкоди від аварії. Функціональність системи безпеки спрямовано на виходи системи як функції часу.

Застосування системного підходу та системного аналізу дало змогу перейти від початкової мети – системи безпечного поводження з РАВ до проміж-

ної – встановлення системи нормативного регулювання безпеки під час поводження з РАВ. Початкова і проміжна цілі взаємопов'язані, оскільки безпечне поводження з РАВ може бути забезпечено тільки в рамках певної регламентації. У реалізації проміжної мети окремі елементи концептуальної моделі стають матеріальними об'єктами. Так, наприклад, вимоги до дотримання безпечного поводження з РАВ поступово втілюються в реальні установки для поводження з РАВ на різних об'єктах використання атомної енергії. Для досягнення проміжної мети потрібно було розробити спеціальну концепцію формування структури системи нормативного регулювання в ході поводження з РАВ (концепція структури системи НД). Основною метою створення цієї концепції була розробка єдиної визначальної ідеї створення структури системи НД за допомогою формулювання основних цілей, принципів, шляхів і засобів досягнення цих цілей. При цьому ставилися наступні завдання: 1) створити оптимальну структуру системи НД в Україні; 2) виключити можливість виникнення внутрішньої суперечливості окремих НД системи або неоднозначність встановлюваних у них вимог; 3) забезпечити ефективність регулювання безпеки в процесі поводження з РАВ в Україні з використанням системи НД; 4) ефективно використовувати виділені ресурси на розробку системи НД.

Систему НД було визначено як логічно повну і несуперечливу сукупність документів, що регламентують дотримання безпечного поводження з РАВ. Розвиток цього загального визначення системи НД дав змогу сформулювати основні властивості системи НД та її підсистем, а також основні способи її створення (рис. 4).

Аналіз діючої системи нормативних актів дав змогу зробити наступні висновки.

1. Нормативні документи верхнього рівня базуються на засадах позитивного міжнародного досвіду і відповідають основним рекомендаціям МАГАТЕ та інших міжнародних організацій, а також сучасним вимогам регулювання безпеки під час поводження з РАВ.

2. Необхідне усунення окремих протиріч у системі нормативних актів, що регламентують поводження з РАВ та здатні призвести до негативних екологічних наслідків. Основною причиною протиріч є використання застарілих нормативних документів, розроблених без урахування сучасної нормативно-правової бази України у сфері поводження з РАВ у сфері екологічної безпеки.

3. Необхідно модернізувати систему нормативних актів другого рівня в частині поділу систем і елементів об'єктів для поводження з РАВ за класами безпеки.

4. Необхідно розробити нормативні вимоги щодо проектування, структури та змісту звітів з аналізу радіаційної та екологічної безпеки об'єктів поводження з РАВ.

5. Використання існуючої нині НД є недостатнім для регулювання радіаційної та екологічної безпеки.

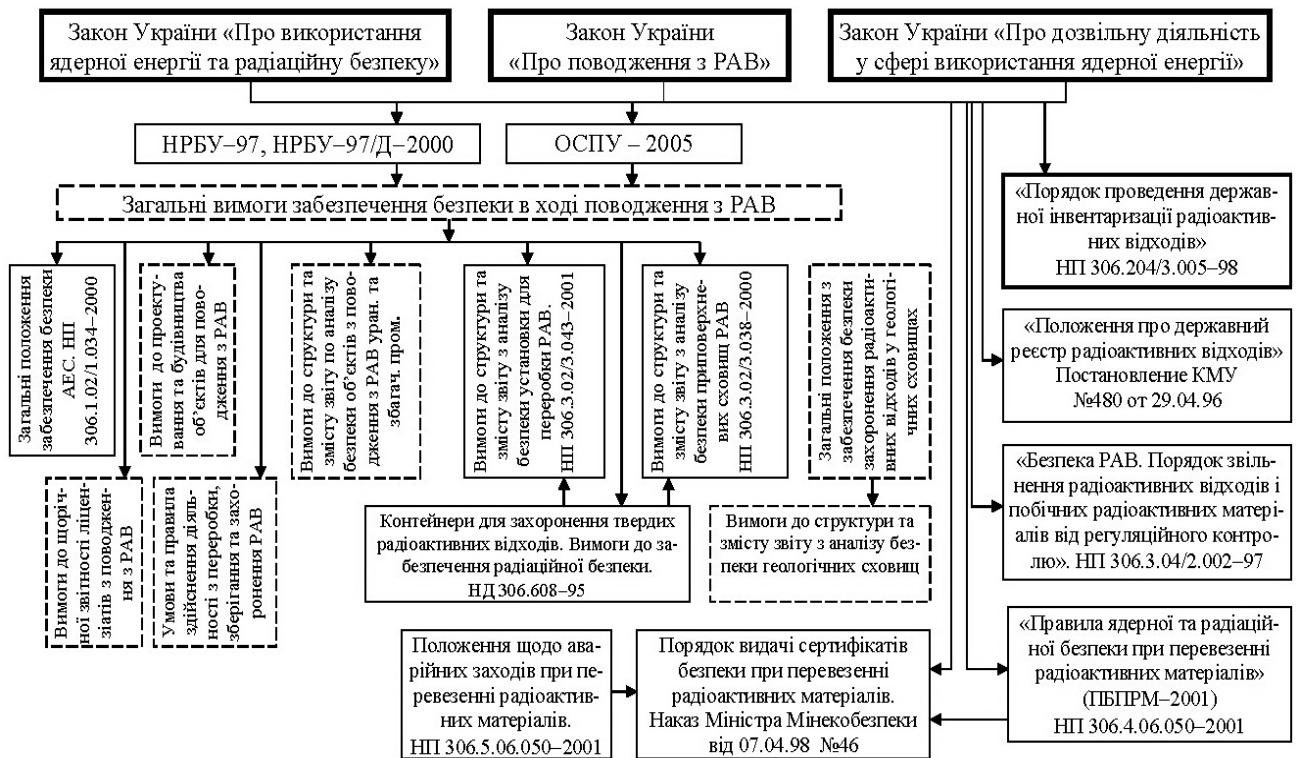


Рисунок 4. Структура системи нормативних документів, що регламентують поводження з РАВ

У ході роботи розроблено методологію формування структури системи НД, сформульовано принципи її формування, розроблено її структуру й основні вимоги до НД та їх змісту. Як базову аксіому сформульовано принципи формування структури системи НД: повнота, достатність, ієрархічність, рівнозначність вимог, адитивність, єдність термінології, інтегративність системи НД з існуючими системами нормативних документів. У ході розробки основних положень концепції структури системи НД застосовувалися методи системного аналізу, спрямовані на активізацію використання інтуїції та досвіду фахівців, у тому числі метод колективної генерації ідей («мозковий штурм»), метод ітеративної процедури під час проведення «мозкового штурму» (метод типу «Дельфі»), системно-структурний метод.

Процес вибору іншої технології та подальшої детальної стратегії відбувається найкраще тоді, коли експерти чітко розуміють логіку безпеки. Ця логіка повинна бути застосована до кожного з розглянутих варіантів (на відповідному рівні деталізації). Ключовим моментом є необхідність гарантії очевидних зв'язків між характеристиками і обсягами РАВ, пропонованими технологіями і пов'язаними з ними ризиками, механізмами управління безпекою та витратами. Тобто аналіз ризиків логічно визначає вимоги до ключових аспектів реалізації технологій – таким як додаткове або модифіковане обладнання, навчання персоналу, діловодство, робочі інструкції, технічне обслуговування та дотримання безпеки.

ВИСНОВКИ

Підводячи підсумки застосування методології системного аналізу для розгляду безпечного поводження з РАВ, можна з упевненістю стверджувати, що безпеку при цьому слід розглядати саме як систему методів, придатних для неї в даному випадку. Тільки усвідомлення безпечного поводження з РАВ як системи зі статичними і динамічними властивостями дає змогу розуміти цю систему і враховувати її в загальній системі комплексної безпеки.

1. Про поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 30.06.1995 № 255/95-ВР. Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 27. Ст. 198.
2. Концепція обращения с радиоактивными отходами Украины. Київ, 1993. 485 с.
3. Про схвалення Стратегії поводження з радіоактивними відходами в Україні: Розпорядження від 19 серпня 2009 р. № 990-р. Кабінет Міністрів України. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/990-2009-%D1%80> (дата звернення: 07.03.2017).
4. Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 17 вересня 2008 р. № 516-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2009. № 5. Ст. 130.
5. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 8 лютого 1995 р. № 39/95-ВР. Верховна Рада України. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua>

gov.ua/laws/show/39/95-%D0 %B2 %D1%80 (дата звернення: 07.03.2017).

6. Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії: Закон України від 11 січня 2000 р. № 1370-XIV. Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2000. № 9. Ст. 68.

7. Про цивільну відповідальність за ядерну шкоду та її фінансове забезпечення: Закон України від 13 грудня 2001 р. № 2893-III. Верховна Рада України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2893-14>.

8. Звіт з поводження з РАВ у ДП НАЕК «Енергоатом» за 2014 рік. Державне підприємство «Національна енергогенеруюча компанія «Енергоатом»». Київ, 2015. 87 с.

9. Комплексна програма поводження з радіоактивними відходами у ДП «НАЕК «Енергоатом» на період 2012–2016 рр.: ПМ-Д.0.18.174–12. Державне підприємство «Національна енергогенеруюча компанія «Енергоатом»». Київ, 2012. 100 с.

10. Заитов В. Промышленный комплекс по переработке твердых радиоактивных отходов ЧАЭС (ПКОТРО ЧАЭС): промежуточный отчет по анализу безопасности установки извлечения твердых отходов и завода по переработке твердых радиоактивных отходов. Гл. 1. Общие сведения. Институт поддержки эксплуатации АЭС, 2002. 447 с. (Номер документа DNR-101638–01; Субконтракт № 88/200000–141/1).

11. Щербин В., Рудько В., Батий В. и др. Завод по переработке жидких радиоактивных отходов: отчет по анализу безопасности. Окончательная редакция 3. Чернобыльская АЭС. 361 с.

12. Григораш О.В., Дибач О.М., Кондратьев С.М. та ін. Питання ядерної та радіаційної безпеки централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива АЕС України. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2017. Вип. 3(75). С. 3–10.

13. Пайнэ А. Помощь министерствам и организациям, ответственным за обращение с радиоактивными отходами в Украине: проект INSC U.04.01/09. DBE Technology. 2016. Электронно-оптический диск (CD-ROM).

14. Разработка национальной стратегии и концепции обращения с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию обращения с радиоактивными отходами НАЭК «Энергоатом»: проект TACIS U4.03/4 / Под общ. ред. В.М. Шестопалова. Т. 1. К.: Промінь, 2008. 500 с.

15. Концепции захоронения радиоактивных отходов в Украине: проект INSC U.04.01/09-B. Пайнэ. DBE Technology. 2017. Электронно-оптический диск (CD-ROM).

16. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Литвинов Ю.В. Проблемні питання запобігання незаконному поводженню з радіоактивними матеріалами в Україні. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. Вип. 2(54). С. 23–29.

17. Predisposal Management of Radioactive Waste: Safety Standards. Vienna: IAEA, 2010. 67 p. (IAEA General Safety Requirements, № GSR, Part 5).

18. Disposal of Radioactive Waste: Safety Standards. Vienna: IAEA, 2011. 83 p. (IAEA, Specific Safety Requirements, NSSR-5).

19. Classification of Radioactive Waste Safety Standards. Vienna: IAEA, 2009. 68 p. (General Safety Guide. IAEA, № GSG-1).

20. Шарапов О.Д., Терехов Л.М., Сіднев С.П. Системний аналіз. К.: Вища школа, 1983. 234 с.

21. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения: монография. К.: Наукова думка, 2011. 726 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2018