

ОЦІНКА РИЗИКУ ЯК ОСНОВА СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Анотація. Розглянуто сучасні наукові концепції техногенної безпеки, загальний підхід до оцінки ризику на гідротехнічних спорудах.

Зазначено, що основою наукових досліджень техногенної безпеки гідроспоруд є поняття ризику, пов'язаного з даною технологією, і прийняттого рівня ризику, зумовленого економічними та соціальними чинниками. Від визначення прийняттого рівня безпеки значною мірою залежать темпи та масштаби політичних, економічних і соціальних перетворень, безпека людини, суспільства, держави та довкілля.

Для оцінки ризику руйнування гідроспоруд пропонується метод, що використовує класифікацію категорій та ступенів реалізації і наслідків загрози руйнування гідроспоруд.

Ключові слова: гідротехнічна споруда, ризик, техногенна безпека, прийнятний ризик.

Аннотация. Рассмотрены современные научные концепции техногенной безопасности, общий подход к оценке риска на гидротехнических сооружениях.

Отмечено, что основой научных исследований техногенной безопасности гидросооружений является понятие риска, связанного с данной технологией, и приемлемого уровня риска, обусловленного экономическими и социальными факторами. От определения приемлемого уровня безопасности в значительной степени зависят темпы и масштабы политических, экономических и социальных преобразований, безопасность человека, общества, государства и окружающей среды.

Для оценки риска разрушения гидросооружений предлагается метод, использующий классификацию категорий и степеней реализации и последствий угрозы разрушения гидросооружений.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, риск, техногенная безопасность, приемлемый риск.

Abstract. The modern scientific concept of technogenic safety, the General approach to risk assessment on the waterworks.

Noted that the basis of scientific research technological safety of hydraulic structures is the concept of risk associated with this technology, and an acceptable level of risk presented by economic and social factors. From determining an acceptable level of security largely depend on the pace and scope of political, economic and social change, security of the person, society, state and environment.

To assess the risk of destruction of hydraulic structures, a method that uses the definition of categories and degrees of implementation and consequences of threat of destruction of hydraulic structures.

Keywords: hydraulic structure, risk, technological security, acceptable risk.

Вступ

Аварії на гідротехнічних спорудах (далі – ГТС) представляють істотну загрозу для населення, господарських об'єктів та довкілля. Найбільш небезпечні серед них аварії, катастрофи та окремі надзвичайні ситуації, що призводять до часткового або повного руйнування ГТС з подальшим розвитком і поширенням хвилі прориву. Такі загрози

найчастіше призводять до значних руйнувань або порушень режимів експлуатації споруд та об'єктів інфраструктури, забруднення довкілля та загибелі людей.

Основним чинником гідродинамічної загрози в Україні є незадовільний стан більшості об'єктів ГТС – гребель, дамб, шлюзів, тобто інженерних споруд, призначених для накопичення і концентрування значних об'ємів води. Так, у складі комплексу водозахисних споруд України налічується 3,5 тис. км дамб, 1,2 тис. км берегоукріплення, понад 600 насосних і компресорних станцій для перекачування надмірних кількостей води, з них на Дніпрі – 308 км дамб, 325 км берегоукріплювальних споруд, а також 31 насосна і 3 компресорні станції. Через нестачу коштів багато з них втрачає надійність і загрожує виникненню надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф. Найбільшу гідродинамічну загрозу для населення і навколишнього середовища створили каскад Дніпровських (Київське, Канівське, Кременчуцьке, Дніпродзержинське, Каховське) та Дністровське водосховище. Основними причинами, які можуть викликати аварії на них є:

- стихійні лиха (землетруси, урагани, гірські обвали, повені, зливи, селі тощо);
- недостатній обсяг науково-дослідних робіт і помилкові оцінки інженерно-геологічних, гідрологічних, сейсмічних, кліматичних умов будівництва;
- помилки при проектуванні;
- неякісне виконання робіт (особливо при будівництві порівняно невеликих споруд, коли не забезпечений належний геотехнічний контроль з участю інженерів-гідротехніків);
- неправильна експлуатація споруди (у тому числі зумовлена недостатньою укомплектованістю штатами і технікою, низькою кваліфікацією персоналу, недоліками фінансування, недостатньою забезпеченістю експлуатаційно-методичною документацією тощо);
- відсутність або недостатній обсяг заходів щодо забезпечення готовності об'єкта до локалізації та ліквідації аварійної ситуації; відсутність своєчасних ремонтних робіт;
- техногенні катастрофи;
- військові дії, диверсії і терористичні акти.

У даній роботі автори розглядають теорію ризику об'єктів ГТС на основі аналізу сукупності факторів, що впливають на надійність і безпеку експлуатації гідроспоруд, включаючи можливий збиток при аварії на об'єктах ГТС.

1. Сучасні наукові концепції техногенної безпеки

Розвиток науки і техніки призвів до появи нових загроз особі, суспільству, державі та довкіллю.

Раніше панівною парадигмою техногенної безпеки була «концепція абсолютної безпеки». Її основна ідея полягала у детермінації аварій, що вважалися реальними (незважаючи на створення системи безпеки), і які можна було повністю контролювати, а в разі їх реалізації локалізувати та пом'якшити наслідки. Створення системи захисту від цих аварій автоматично гарантує повну безпеку. Мета такої системи безпеки – забезпечення абсолютної безпеки, «нульового» ризику. Однак на практиці вона завдала значного збитку народному господарству, здоров'ю людей, навколишньому середовищу не тільки України. Крупні аварії на АЕС (Чорнобиль, Фукусіма), а також багато природних стихійних лих довели помилковість даної концепції [1–4].

Частково зазначені проблеми зняла концепція «прийняттого ризику», заснована на ймовірнісному аналізі. Вона стала альтернативою «концепції абсолютної безпеки» (абсолютного ризику) як такої, що не виправдала себе. За основу даного підходу було взято емпіричний факт – ніяка діяльність не може бути повністю безпечною, тобто досягти абсолютної безпеки неможливо.

Точкою відліку для аналізу техногенної безпеки є поняття ризику, пов'язаного з даною технологією, і прийняттого рівня ризику, зумовленого економічними та соціальними чинниками [5].

Тому прийнятний рівень безпеки – це захист від тих загроз, дестабілізуючий чи руйнівний ефект яких найбільшою мірою небезпечний для стійкості елементів і зв'язків системи [6].

Знаючи ймовірність реалізації загроз й очікувану величину втрат, можна уникнути важких катастроф, послабити їхню силу, передбачити ефективні компенсаційні механізми [7].

Другою важливою категорією сучасної концепції техногенної безпеки є «ризик». Де під поняттям ризик розуміють кількісну міру безпеки, прогнозовану векторну величину збитку, що може виникнути внаслідок ухвалення рішень в умовах невизначеності та реалізації загрози [6].

Концепція ненульового ризику визнає факт недосяжності абсолютної безпеки.

Прийнятний ризик – це рівень індивідуального ризику, виправданий з економічної, соціальної й екологічної точки зору, а також є прийнятним для управлінських адміністративних органів [8].

Отже, прийнятний ризик – це ризик, рівень якого є допустимим і обґрунтованим, виходячи із соціально-економічних міркувань. Прийнятний техногенний ризик встановлюють для кожного виду технічних об'єктів, споруд, транспортних систем [9].

Величина прийнятного ризику залежить від політичних, економічних, соціальних чинників. Вона є деяким компромісом між реальним ризиком і можливостями його досягнення, а також між рівнем безпеки та можливостями його досягнення. При цьому враховується обмеженість економічних можливостей мінімізації ризику: наприклад, при зростанні витрат техногенний ризик R_t знижується, але зростає соціально-економічний R_{se} . Сумарний ризик R_E досягає мінімуму при відповідному співвідношенні між інвестиціями в технічну й соціальну сфери (рис. 1). Ця обставина є визначальною при виборі величини ризику, з якою суспільство змушене миритися [6].

Економічний механізм зниження ризиків включає:

- пряме економічне регулювання (на основі цільових витрат державного бюджету на реалізацію заходів щодо забезпечення прийнятного рівня ризиків);

- побічне економічне регулювання (на основі вдосконалення податкового й кредитного механізмів, особливо системи пільгових тарифів і ставок; розвитку системи страхування, що забезпечує обов'язкове державне страхування відповідальності господарських об'єктів – джерел загроз, а також населення територій, найуразливіших до впливу небезпечних природних і природно-техногенних явищ і процесів).

Ризик експлуатації об'єкту є прийнятним, якщо заради вигоди, одержаної від його експлуатації, суспільство готове піти на цей ризик [10].

Нормування ризику (встановлення його прийнятного рівня) проводять у різних формах. Так, граничні рівні встановлюють: для ризику аварій у вигляді гранично допустимої ймовірності аварій за рік або на деякий показник напрацювання. Наприклад, ймовірність тяжких запроектних аварій не повинна перевищувати 10^{-7} за рік; ймовірність впливу на людей небезпечних факторів відповідно вибуху та пожежі не повинна перевищувати 10^{-6} 1/(чол. × рік) [11, 12];

Залежно від способу визначення показника ризику для об'єкту розглядають два види критеріїв прийнятного ризику аварій [13]:

- якісні критерії, що засновані на словесних оцінках та відображають конкретні вимоги безпеки (наприклад, у вигляді: «Вражаючі фактори аварій при руйнуванні будь-якої одиничної ємності на об'єкті не повинні виходити за межі санітарно-захисної зони»);

- кількісні критерії (наприклад, у вигляді: «Індивідуальний ризик загибелі населення від аварії на об'єкті не повинен перевищувати величини 10^{-7} чол./рік»).

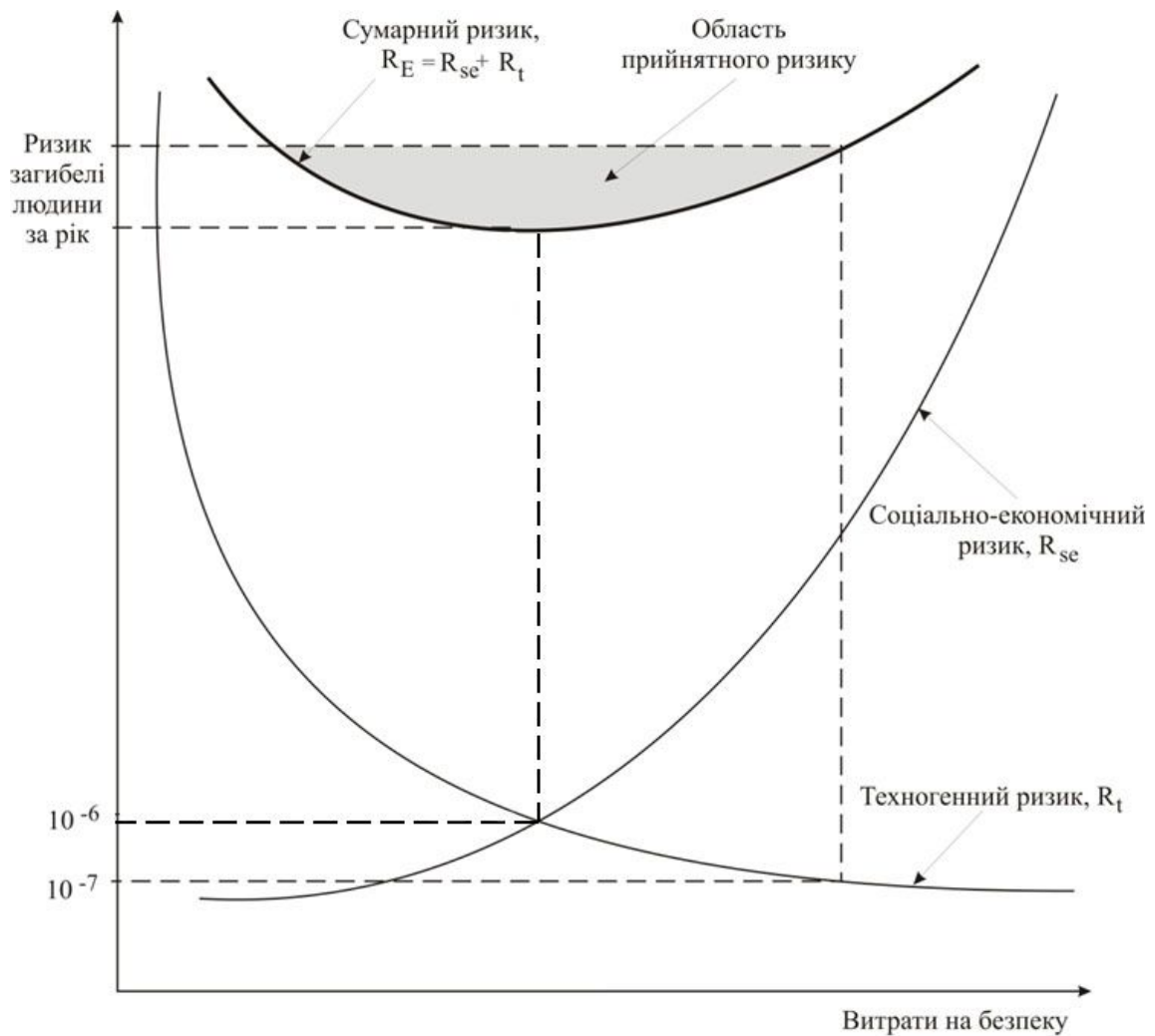


Рисунок 1 – Визначення величини прийнятного ризику [6]

Рівні прийнятного ризику встановлюють з урахуванням фактичного рівня аварійності (досягнутого рівня безпеки) і можливих наслідків аварії – чим значніші наслідки, тим жорсткіші рівні. Неприйняття ризиків аварій з важкими наслідками, можливих на небезпечних об'єктах, призводить до встановлення для них більш жорстких заходів щодо забезпечення безпеки. Завдяки цьому на таких об'єктах забезпечуються більш низькі рівні ризиків [14].

2. Показники й оцінка ризику руйнування гідротехнічних споруд

Попри всі технічні зусилля та значні економічні витрати щодо попередження руйнування гідротехнічних споруд (ГТС), аварії на них продовжують відбуватися.

Ризик руйнування ГТС можна розглядати як кількісну міру безпеки. Це багатокомпонентний вектор, де в залежності від поставленої задачі акцентується увага на певній компоненті, або на кількох з них [15, 16].

Наведемо основні показники даного вектора для випадку загрози руйнування гідроспоруд [1]:

- збиток w внаслідок руйнування гідротехнічної споруди (зруйновані будівлі та споруди, затоплені території, економічні збитки, загиблі та постраждалі тощо). Ймовірність (частота) руйнування гідротехнічної споруди з даним збитком (наслідком) $Q(w)$.

- середньоочікуваний збиток (ризик), визначається як:

$$\bar{R} = \sum_i Q_i w_i, \quad (1)$$

для дискретних випадків:

$$\bar{R} = \int P(w) w dw, \quad (2)$$

- за умови, що $Q(w)$ – неперервна функція, де $P(w)$ – щільність ймовірності.
- витрати B_1 на зменшення ймовірності руйнування гідротехнічної споруди,
 - витрати B_2 на зменшення наслідків руйнування гідротехнічної споруди,
 - витрати B_3 на компенсацію збитку (наслідків),
 - усі витрати $B = B_1 + B_2 + B_3$ на управління ризиком.

Нині відсутня уніфікована математична модель для оцінки техногенного ризику. Тому на практиці часто доводиться використовувати методи, засновані на експертних оцінках ризику. Так, для оцінки ризику руйнування ГТС можна застосувати метод, що використовує визначення категорій та ступенів реалізації і наслідків [17]. Тобто ймовірності реалізації загрози руйнування ГТС Q та її наслідків (збитків, пов'язаних з цим руйнуванням) w , а потім присвоєнні кожній такій категорії певного рейтингу (табл. 1, 2). В результаті можна побудувати матрицю якісно-кількісних характеристик оцінки ризику руйнування ГТС R (табл. 3), елементи якої є добутком значень компонент (рейтингу), що визначають величину ризику, для кожного розглянутого об'єкту ГТС.

За таких умов величину ризику R як добуток Qw (кількісна оцінка ймовірності руйнування ГТС помножена на оцінку збитку) можна умовно розділити на п'ять рейтингів (табл. 4), а також виділити області безумовно допустимих, прийнятних та надмірних ризиків. У табл. 3 області безумовно допустимих, обмежено допустимих та недопустимих ризиків виділені відповідно світлим, сірим та темним фоном.

В залежності від величини ризику можна здійснити ранжування рівнів безпеки ГТС, що дає змогу реалізовувати відповідні заходи захисту та розподіл коштів на їх виконання.

Таблиця 1 – Якісні показники ризику, пов'язані з гідротехнічними спорудами [17]

Рівень наслідків (рейтинг), бали	Ступінь наслідків (категорії)	Характеристика наслідків	Відповідна кількісна оцінка збитку w , у.о./аварія
1	2	3	4
1	Незначні	Відсутність травм, незначні ушкодження, викиди	< 103
2	Малі	Малі ушкодження, незначні травми, швидка ліквідація наслідків власними силами	103 – 104
3	Помірні	Ушкодження середньої важкості, несуттєві порушення функцій об'єкту, травми з тимчасовою втратою працездатності, наявність аварійних скидів, викидів	104 – 105
4	Значні	Несчасні випадки з тривалою втратою працездатності, невеликі руйнування, суттєві порушення функцій об'єкту, значні аварійні скиди, викиди	105 – 106

1	2	3	4
5	Катастрофічні	Смертельні випадки, значні руйнування, повне порушення функцій об'єкту, ліквідація наслідків вимагає значних ресурсів	> 106

Таблиця 2 – Характеристика ймовірності реалізації ризиків [17]

Рівень реалізації (рейтинг)	Ступінь реалізації (категорії)	Опис реалізації	Відповідна кількісна оцінка ймовірності події Q , 1/рік
1	Неймовірно	Подія може відбутися лише за виключних обставин. Можна вважати, що вона не відбудеться протягом усього часу існування системи	< 10 ⁻³
2	Малоймовірно	Подія може відбутися, але досить рідко, тобто навряд чи відбудеться протягом часу існування системи, але нею не можна знехтувати	0,001 – 0,01
3	Ймовірно	Може відбутися у деяких випадках (відбувається у середньому один раз протягом часу існування системи)	0,01 – 0,1
4	Досить ймовірно	Ймовірно буде відбуватися у більшості випадків (відбувається декілька разів протягом часу існування системи)	0,1 – 0,5
5	Майже напевно	Очікується, що подія буде відбуватися за будь-яких обставин. Для системи відбувається досить часто протягом часу існування системи	> 0,5

Таблиця 3 – Матриця якісно-кількісних характеристик ризику [17]

Реалізація, бали	Наслідки, бали				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

Таблиця 4 – Характеристика ризику [17]

Категорія	R	Необхідна дія	Прийнятність
Екстремальний	> 20	Необхідні негайні дії	Неприпустимий (надмірний)
Високий	15 – 20	Необхідна підвищена увага вищого керівництва та відповідальних осіб	
Середній	10 – 15	Необхідне визначення відповідальних осіб	Обмежено допустимий (прийнятний)
Низький	5 – 10	Застосовуються звичайні процедури управління	
Яким можна знехтувати	< 5	-	Безумовно допустимий

Що стосується ГТС, то виходячи з прийнятного рівня техногенного ризику встановлюють технічні вимоги безпеки стосовно конструкцій ГТС, а також вимоги стійкості до небезпечних техногенних (удари, ударні хвилі, термічні навантаження) та природних (вітрові навантаження, сейсмостійкість) явищ [18]. Тому гранично допустимий рівень індивідуального ризику для ГТС України, враховуючи рівень її соціально-економічного розвитку, на нашу думку, може бути прийнятним в діапазоні від 10^{-4} (для функціонуючих об'єктів) до 10^{-5} (для новозбудованих об'єктів) 1/рік. За критерій прийнятності соціального ризику пропонується такий: неприйнятним вважається ризик, коли 25 дорослих людей (або дітей, людей похилого віку, хворих) і більше піддаються небезпеці з частотою більше 10^{-4} (відповідно 10^{-5}) за рік.

3. Ризик-менеджмент гідротехнічних споруд

Управління ризиком – це завчасне його передбачення, виявлення джерел загроз та факторів, розробка та вжиття заходів щодо зниження ризику до прийнятного рівня. Інакше кажучи, зниження ризику аварій та катастроф гідроспоруд передбачає три етапи дій – прогноз та попередження, реагування та ліквідація наслідків.

Для формалізації ризику R руйнування ГТС використовується адитивно-мультіплікативна модель, що пов'язує між собою ймовірність виникнення подій P_i (загроз) і відповідних їм небажаних наслідків w_i . Враховуючи, що $0 \leq Q \leq 1$ й нормований збиток $0 \leq w \leq 1$, її можна використати для аналізу ризику у вигляді чотирьох ідеалізованих ситуацій, що є звичним способом дослідження поведінки функцій у математиці [11, 19, 20].

Ранжування ризиків можна зобразити у вигляді діаграмами виду «два на два» (рис.2).

З математичної точки зору дані чотири випадки записуються у вигляді:

а) $Q = 1, w = 0, R = 0$

Випадок відповідає ситуації, коли частота реалізації події велика, а величина наслідків для заданої події незначна (блок **C**).

б) $Q = 0, w = 1, R = 0$.

Випадок відповідає ситуації, коли подія спостерігається досить рідко, а величина наслідків для них значна (блок **B**).

в) $Q = 0, w = 0, R = 0$.

Випадок відповідає ситуації з досить рідкими подіями і незначними наслідками (блок **D**).

г) $Q \neq 0, w \neq 0, R \neq 0$.

Випадок відповідає ситуації, коли спостерігаються різні частота подій та наслідки (як правило, значні) (блок **A**).

Ризики, що знаходяться у блоці **A**, вимагають негайних дій, у блоці **B** – розробки плану аварійних заходів; конкретні заходи по управлінню ризиками, що знаходяться у блоці **C**, необхідно розглядати; у блоці **D** знаходяться найменш значимі ризики, проте вони потребують періодичного перегляду. Такий ризик-менеджмент характеризується деякою суб'єктивністю, а оцінка наслідків різними ступенями невизначеності [21].

Оцінка ризику має враховувати несприятливі події, що розвиваються за різними сценаріями. Тоді формула (1) потребує узагальнення

$$R = \sum_{ij} Q_{ij} w_{ij}, \quad (3)$$

де індекс i відноситься до події, а j – до даного сценарію.



Рисунок 2 – Ранжування ризиків за ступенем наслідків [22]

Очевидно, що вибір конкретної математичної моделі оцінки ризику залежить від кожної з цих ситуацій. Як наслідок – існує значна кількість як самих моделей, так і підходів до моделювання оцінок ризику [8].

Стратегія управління ризиком може ґрунтуватися на виборі рівня ризику в межах від мінімального (який вважається досить малим) до максимально допустимого. Поняття прийняттого ризику є основою методології, яка дозволяє встановити рівень загрози – надмірний чи прийнятний, – а також встановити межі для кількісного виміру рівня безпеки

ГТС [23]. При цьому важливо дати чіткі визначення основних термінів концепції ненульового ризику щодо безпеки гідроспоруд [6].

При аналізі джерел загроз принциповим є те, що вони тісно пов'язані між собою. На нашу думку, джерело загроз – це будь-яка діяльність або стан довкілля, що здатні призвести до аварій або катастроф на ГТС.

Загроза – це соціальне, природне чи техногенне явище, подія або процес з прогнозованими, але неконтрольованими небажаними наслідками, що може статися у певний момент часу на ГТС, спричинити смерть людей і завдати шкоди їхньому здоров'ю, призвести до матеріальних і фінансових збитків, погіршити стан прилеглих територій.

Джерела та загрози руйнування гідроспоруд представлені у табл. 5 [24, 15, 25, 26].

Аварія – небажана подія, що виникає внаслідок господарської діяльності на об'єктах гідротехнічних споруд: вихід з ладу або пошкодження механізму, машини, агрегату, транспортного засобу або споруди, що супроводжується порушенням виробничого процесу або функціонування механічної системи, пов'язаний із загрозою життю людей, матеріальними збитками і, зазвичай, завдає шкоди прилеглим територіям та довкіллю в цілому.

Надзвичайна ситуація – обставини на прилеглий до гідротехнічної споруди території, що склалися внаслідок аварії, небезпечного природного явища, катастрофи, стихійного лиха тощо, які можуть призвести або вже призвели до людських жертв, завдали шкоди здоров'ю людей або довкіллю, призвели до значних матеріальних і фінансових втрат, а також – до порушення нормальних умов життєдіяльності людей.

Таблиця 5 – Джерела та загрози руйнування гідроспоруд

Середовище загрози руйнування ГТС	Джерела загроз	Фактори руйнування ГТС
1	2	3
Природне середовище	Геодинамічна активність; Зміни клімату та глобальне потепління;	Землетруси та «збуджена» сейсмічність; Зсуви; Обвали у водосховища масивів нестійких гірських порід; Селі; Снігові лавини; Урагани; Снігопади; Зливи; Повені; Смерчі; Тайфуни, шторми;
Техногенне середовище	Дослідне виробництво нової техніки; Випуск небезпечних технологічних конструкцій; Зношення обладнання; Низький рівень дослідно-конструкторських робіт	Хвилі прориву у нижніх б'єфах пошкоджених ГТС; Відмова у роботі затворних механізмів управління ГТС
Соціальне середовище	Порушення правил безпеки експлуатації технічних систем; Низький рівень науково-дослідних робіт; Напруженість міжнародних відносин; Соціальна несправедливість	Людський фактор (непрофесійність, некомпетентність та безвідповідальність); Воєнні дії; Терористичні акти

Стихийне лихо – небезпечні природні процеси та явища, які за своїми масштабами відхиляються від вузького діапазону нормального функціонування прилеглої до гідротехнічної споруди території та навколишнього середовища, створених людиною пристроїв, споруд, технологій та самої людини; руйнівне природне і/або природно-антропогенне явище чи процес, що може спричинити або вже спричинив загрозу життю та здоров'ю людей, руйнування або знищення матеріальних цінностей та окремих елементів природного середовища у межах даної гідротехнічної споруди. Це можуть бути як короткотривалі процеси, наприклад, тайфуни, смерчі, зсуви, лавини, землетруси, виверження вулканів, цунамі тощо, так і довготривалі – засухи, повені, снігові замети.

Катастрофа – велика аварія, що виникає на гідротехнічній споруді внаслідок господарської діяльності і завдає значної шкоди як населенню, так і навколишньому середовищу: людські жертви, каліцтва або погіршення стану здоров'я населення, забруднення природного середовища тощо [6].

Зазвичай до катастроф відносять великі аварії, за яких загинуло не менше певної кількості людей (не менше як 10 осіб), матеріальний збиток перевищив певну суму або мав місце певний збіг цих обставин [27].

Надзвичайні ситуації, аварії та катастрофи на гідротехнічних спорудах настають за певної комбінації умов існування джерел та факторів загроз. Чим більше таких ситуацій, тим більша ймовірність їх виникнення (табл. 5).

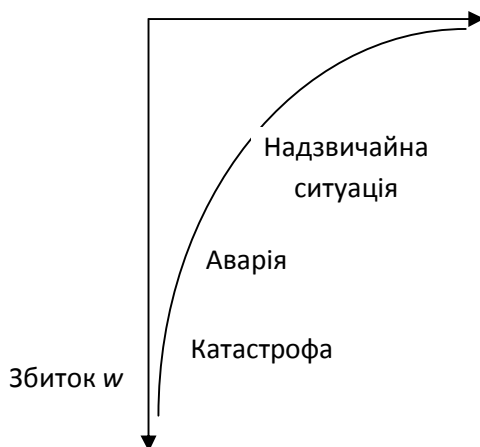


Рисунок 3 – Розподіл небезпечних подій на гідроспорудах за збитком [28]

4. Розробка сценаріїв розвитку аварій, НС та катастроф ГТС за допомогою дерева подій

Загальний підхід до оцінки ризику на гідротехнічних об'єктах наступний:

- розподіл аварій, НС та катастрофи як складної події, що призводить до негативних наслідків з різними ступенями тяжкості, на елементарні події;
- визначення ймовірностей цих подій, їх послідовності, а також небезпечних наслідків;
- розрахунок повної ймовірності цих подій для зазначеної послідовності.

Аварії, НС та катастрофи об'єктів ГТС є завершеними послідовностями подій. Ступінь їх деталізації, пов'язаний з можливістю визначення оцінки ймовірності їх виникнення [16].

Першим кроком побудови сценаріїв є визначення небезпечних подій як ззовні, так і всередині об'єкта. При цьому сприятливими подіями, що розглядаються є спрацювання чи відмови елементів та систем об'єкту, помилки обслуговуючого персоналу («людський фактор») тощо [29, 30].

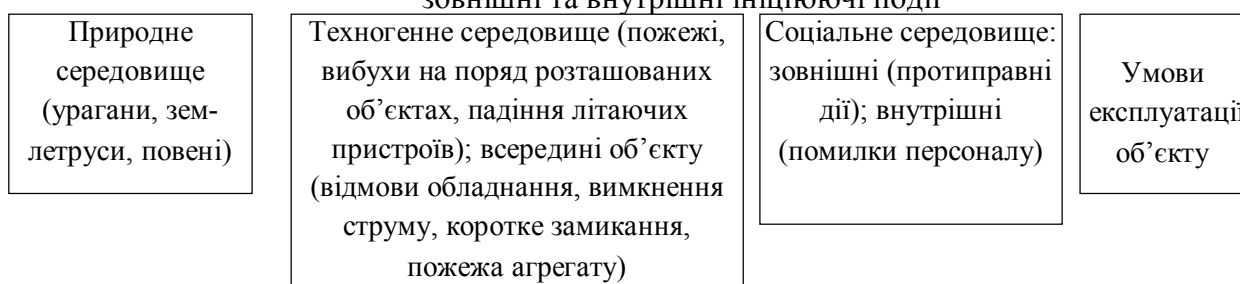
У такий спосіб оцінка ризику аварій на ГТС під час його експлуатації представляється у вигляді деревоподібного орієнтованого графа (рис. 3) з розгалуженою структурою, початковими подіями якого є ініціюючі події (фактори загроз) A_p ($p = 1, \dots, q$), а головними подіями, що знаходяться у вершинах графа, B_k ($k = 1, \dots, l$) – можливі наслідки.

Сценарії розвитку аварій визначаються схемами:

- зверху вниз («а що буде, якщо ...»);
- знизу вверх (від негативних наслідків до їх причин).

Припустимо, B_0 – подія, що полягає у штатному функціонуванні об'єкту (збиток $w_0 = 0$), а B_k ($k = 1, \dots, l$) – подія, що полягає у переході об'єкту ГТС через початкові (ініціюючі) події до стану, що характеризується негативними наслідками, оцінюючим збитком w_k ($k = 1, \dots, l$). Таким чином, стан об'єкту описується $(l+1)$ -вимірним вектором, що приймає значення від 0 (штатне функціонування) до l (наслідки l -го типу). Як правило, кожний сценарій розвитку аварії призводить до різного збитку.

Початкові події A_p ($p = 1, \dots, q$) для об'єкту, що розглядається:
зовнішні та внутрішні ініціюючі події



Ймовірності реалізації фактору загрози на об'єкті

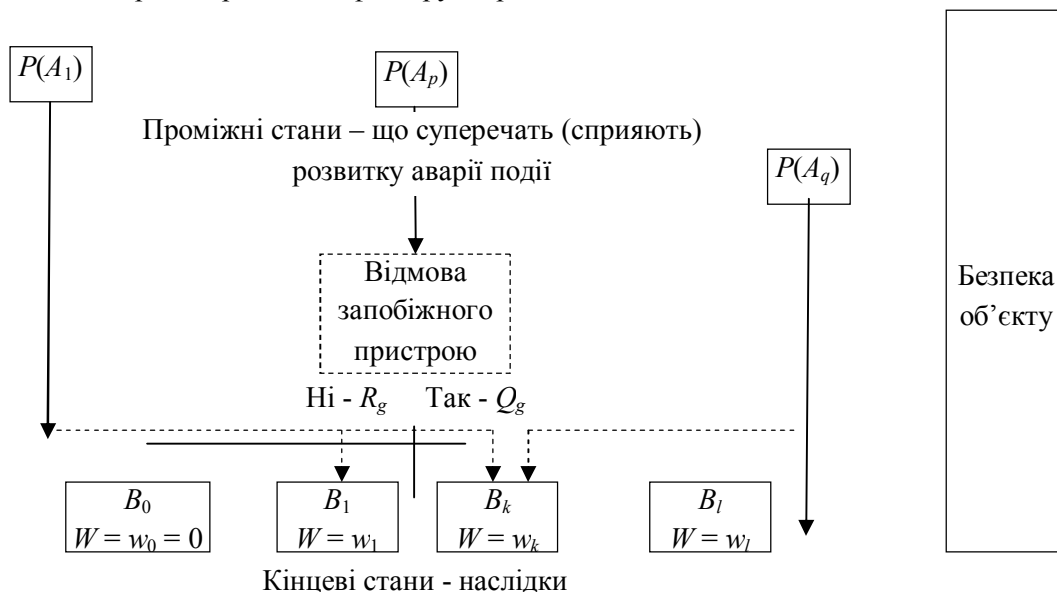


Рисунок 4 – Дерево подій при експлуатації об'єкту ГТС

Враховуючи вищенаведене, оцінку ризику можна отримати за допомогою формули [31]:

$$R = \sum_{k=1}^l P(B_k)w_k \tag{4}$$

де $P(B_k) = Q_k$ – ймовірність несприятливої події по k -му каналу.

Так у випадку (рис.4), отримаємо

$$P(B_k) = P(A_p)Q_g, \quad (5)$$

де Q_g – ймовірність реалізації фактору загроз (відмови запобіжного пристрою).

Цю ймовірність при всіх можливих вихідних подіях обчислюють за формулою

$$Q_g = \sum_{p=1}^q P(A_p)Q_{pk}, \quad (6)$$

де $P(A_p)$ – ймовірність настання небезпечної події p -го типу у розрахунку на рік; Q_{pk} – ймовірність розвитку небезпечної події за k -м каналом у результаті реалізації p -ї небезпечної події (обчислюється як добуток ймовірностей усіх сприяючих подій).

Тоді з урахуванням формули (4)

$$R = \sum_{k=1}^l w_k \sum_{p=1}^q P(A_p)Q_{pq}. \quad (7)$$

Розглянемо побудову графа дерева подій за допомогою методу «зверху вниз» (рис. 4).

На першому рівні представлені можливі умови експлуатації об'єкту ГТС у вигляді можливих початкових умов A_p ($p = 1, \dots, q$) для небезпечних подій:

- зовнішні ініціюючі події;
- аварійні ситуації з окремими блоками, агрегатами, на об'єкті, коли реалізуються небезпечні події;
- робота об'єкту ГТС у відповідності з експлуатаційною документацією, за якої можливі відмови елементів.

На другому рівні розташовані ймовірності $P(A_p)$ $p = 1, \dots, q$ вихідних факторів загроз, що можуть призвести до аварії, НС та катастрофи з негативними наслідками.

На третьому рівні розташовані сприяючі (перешкоджаючі) події (механізми відвертання), що враховують надійність, міцність, стійкість тощо елементів об'єкту ГТС. Ймовірність реалізації сприяючої події ($z = 1$) – Q_g , не настання ($z = 0$), маємо ймовірність $R_g = 1 - Q_g$. На останньому рівні розташовуються можливі наслідки (збитки) експлуатації небезпечного об'єкту B_k ($k = 1, \dots, l$). Взагалі, кількість рівнів визначається наявною інформацією про об'єкт дослідження [32–34].

Ймовірність збитку визначається як добуток ймовірності реалізації фактору загрози та ймовірності реалізації механізмів її відвертання.

5. Стратегія управління безпекою ГТС

З погляду системного аналізу стратегія управління безпекою гідроспоруд може бути поділена на чотири стадії: концепції – моделі – принципи – рішення [8, 29].

Спочатку фахівцям з проблем математичного моделювання пропонується концепція, яка підтримується керівництвом країни та фахівцями з питань управління безпекою у даній сфері. Повинні бути задані базові точки й визначена система пріоритетів, а також надані ресурси, які країна може спрямувати в цю сферу.

На основі результатів, отриманих на попередніх етапах математичного моделювання, можуть прийматися конкретні технічні, управлінські та інші рішення. Це змінює ситуацію, пріоритети, збагачує дослідників й практиків досвідом і примушує їх повернутися до початку опрацювання концепції, конкретизувати її, уточнити. А в разі потреби й змінити її.

Найпростішу картину можна представити наступним чином. Характеризуватимемо стан об'єкта ГТС цілим числом $n = 0$, що відповідає аварії з неприйнятним рівнем збитку. Чим більше значення n , тим у кращому (більш безпечному) стані залишиться об'єкт. Через складні причинно-наслідкові зв'язки його стан описується за допомогою методів теорії ймовірності. Вважаємо, що заходи щодо забезпечення безпеки, ремонт, модернізація тощо призводять до того, що за деякий інтервал часу Δt (час – дискретна величина, що змінюється з кроком Δt , тобто стан системи може змінюватися лише в моменти $\Delta t, 2\Delta t, \dots$) стан об'єкта покращується з ймовірністю p . Таким чином, якщо в момент t він має оцінку n , то в момент $t + \Delta t$ оцінка стане $n + 1$. З ймовірністю $1 - p$ він буде погіршуватися (старіння обладнання, халатність персоналу, інші недоліки) [29].

Наприклад, у момент початку експлуатації $t = 0$ об'єкт мав оцінку надійності n_0 . Для простоти вважатимемо, що напруцювання (обсяг послуг), вироблене одиницю часу Δt , дорівнює Q і не залежить від оцінки безпеки n . Припустимо також, що витрати на проведення технічної політики (включаючи заходи, спрямовані на підвищення стійкості об'єкта), що забезпечує ймовірність p , дорівнюють за одиницю часу $R(p)$.

У такій постановці наша задача зводиться до класичної проблеми теорії ймовірності про блукання на напівпрямій або до задачі про програвання гравця [35, 36].

5.1 Стратегія гарантованої надійності

Розраховуємо на випадок найгіршого варіанту, у разі якого, незважаючи на вжиті заходи, стан об'єкта буде погіршуватися. В цьому випадку час його безаварійної роботи дорівнює n_0 . А економічний ефект становить,

$$D_1 = (Q - R(p))n_0. \quad (8)$$

Після того, як об'єкт відпрацював гарантійний термін, він більше не експлуатується. Перевага такого підходу – не потрібна система моніторингу. Недолік – час роботи при цьому може бути досить незначний, і для $t = n_0$ можна відмовитися від експлуатації об'єкта, який може знаходитись у відмінному стані. Насправді, ймовірність аварії в момент часу $n_0\Delta t$ дорівнює $p_r = (1 - p)^{n_0}$.

Якщо величина p близька одиниці, а значення n_0 досить велике, то ця ймовірність може бути дуже малою. З іншого боку, в даній ідеалізованій ситуації не виникає витрат на ліквідацію наслідків аварії.

5.2 Стратегія звичайних аварій

Досить часто при побудові виробництва враховують штатні, проектні аварії. Такий підхід має вигляд: нехай ймовірність того, що аварія трапиться в момент $m\Delta t$, якщо спочатку система перебувала у стані з рівнем безпеки n_0 , дорівнює $p(m | n_0)$. Тоді середній час до аварії дорівнює

$$\bar{M} = \sum_{m=1}^{\infty} mp(m | n_0) \quad (9)$$

Припустимо, що експлуатуємо об'єкт впродовж часу T ($T < M$) до того, як станеться серйозна аварія, ліквідуємо її наслідки і потім припиняємо її експлуатацію. У такому разі економічний ефект стає випадковою величиною з математичним очікуванням D_2 , де C – вартість ліквідації наслідків аварії.

Взагалі, якщо рівень обслуговування нижче деякого критичного рівня $p < 1/2$, належному рівні, то аварія може і не відбутися, наприклад,

$$\bar{D}_2 = \sum_{m=0}^T [m(Q - R(p))p(m|n) - p(m|n)C] \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} p(m|1) = (1 - p)/p$$

Управління ризиком при цьому зводиться до вибору рівня технічного обслуговування p і проектного терміну служби.

5.3 Стратегія з ідеальним моніторингом

Недоліком попередньої стратегії є необхідність ліквідації наслідків великої аварії у разі стандартного, штатного режиму. Цього можна уникнути, якщо маємо систему моніторингу. В разі критичної ситуації можна призупинити експлуатацію об'єкта. Якщо вважати, що робота такої високоефективної системи моніторингу за одиницю часу Δt потребує затрат L , то економічний ефект від експлуатації такого об'єкта в середньому складає

$$D_3 = (Q - R(p) - L) \sum_{m=0}^{\infty} mp(m|n). \quad (11)$$

У різних сферах сучасних технологій в основному використовуються такі стратегії або їх модифікації та комбінації.

5.4 Стратегія реагування на зміни властивостей системи

Передбачається, що величини p , $R(p)$, L , Q , C суттєво не змінюються впродовж усього часу функціонування об'єкта [11]. Це припущення не завжди виконується як у кризовий, так і в перехідний періоди. Наприклад, тривалі невивлати зарплати призводять до падіння технологічної дисципліни. Як наслідок – об'єкт стає ще більш небезпечним. Це часто вимагає корегування стратегії аж до екстрених заходів, пов'язаних із зупинкою об'єктів. Надзвичайні ситуації, які мали місце на небезпечних виробництвах, свідчать про те, що соціальні, психологічні, економічні аспекти можуть стати найбільш вагомими. Сьогодні ці аспекти управління ризиками не враховуються належним чином.

Висновки

Основою наукових досліджень для аналізу техногенної безпеки має бути поняття ризику, пов'язаного з даною технологією, і прийняттого рівня ризику, зумовленого економічними та соціальними чинниками. Від визначення прийняттого рівня безпеки значною мірою залежать темпи та масштаби політичних, економічних і соціальних перетворень, безпека людини, суспільства, держави та довкілля. Тобто величина прийняттого ризику є деяким компромісом між реальним ризиком і можливостями його досягнення.

За відсутності уніфікованої математичної моделі для оцінки техногенного ризику, на практиці часто доводиться використовувати методи, засновані на експертних оцінках ризику. Так, для оцінки ризику руйнування ГТС можна застосувати метод, що використовує визначення категорій та ступенів реалізації і наслідків загрози руйнування ГТС.

Гранично допустимий рівень індивідуального ризику для ГТС України, враховуючи рівень її соціально-економічного розвитку, може бути прийнятним в діапазоні від 10^{-4} (для функціонуючих об'єктів) до 10^{-5} (для новозбудованих об'єктів) 1/рік.

Зниження ризику аварій та катастроф на гідропорудах передбачає три етапи дій – прогноз та попередження, реагування та ліквідація наслідків.

У системі реагування на надзвичайні ситуації природного і техногенного характеру Україна має перейти до політики «прийняттого ризику». Разом з тим, такий перехід потребує

докорінної зміни всієї виконавчої і законодавчої системи управління природно-техногенною безпекою. В даний час її ефективність надзвичайно низька.

Для підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки потенційно і техногенно небезпечних виробництв та зниження рівня ризику виникнення надзвичайних ситуацій на державному рівні необхідно здійснити перехід в Україні на аналіз і управління техногенними ризиками як основну систему регулювання безпеки її населення і території, що забезпечить подолання негативної тенденції зростання кількості надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Важливе значення має модернізація виробничого апарату, вироблення принципово нової стратегії технологічної модернізації, модернізації у сфері інновацій та інституційній сфері. Необхідно створити цілісну міжвідомчу систему інтегрального моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій, яка включала б організацію центру прийняття і обробки інформації, що надходить від різних систем, органів виконавчої влади; створити банк даних про потенційно- і техногеннонебезпечні виробництва. А також здійснити масовані інвестиції в модернізацію промислового виробництва, виведення із експлуатації виробничих фондів, що відпрацювали свій ресурс, перехід на сучасні безпечні технології. Це необхідно, до значна частина потенційно небезпечних виробництв у найближчій перспективі вичерпає свій ресурс.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбулін В.П., Качинський А.Б. Системно–концептуальні засади національної безпеки України. – К.: ДП «НВЦ» «Євроатлантикінформ», 2007. – 592 с.
2. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений. – М.: Энергоиздат, 1983. – 320 с.
3. Маршал В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
4. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. – М.: Прогресс, 1978. – 439 с.
5. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные ситуации: опасности, угрозы, риски. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 344 с.
6. Качинський А.Б. Безпека, загрози та ризик. – К.: ІПНБ РНБО; НА СБ України, 2004. – 472 с.
7. Бачкаи Т., Месена Д., Мико Д. Хозяйственный риск и методы его измерения. – М.: Экономика, 1979. – 184 с.
8. Качинський А.Б. Засади системного аналізу безпеки складних систем. – К.: ДП «НВЦ «Євроатлантикінформ», 2006. – 336 с.
9. Ляпичев Ю.П. Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений – М.: РУДН, 2008. – 222 с.
10. Бек У. Общество риска. На пути к другому модерну. – М.: «Прогресс – Традиция», 2000. – 384 с.
11. Азанов С.Н., Вингородский С.Н., Половко А.И., Гуров С.В. Надежность технических систем и техногенный риск. – СПб.: СПб Лесотехническая академия, 1998. – 119 с.
12. Федулов Г.В., Акимов А.А., Корнейчук Ю.Ю. О терминологии в сфере защиты населения от чрезвычайных ситуаций // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – №4. – С. 200 – 214.
13. Бутыркин А.Я. Учет факторов риска при разработке стратегии промышленного предприятия // Управление риском. – 2005. – № 1. – С. 59 – 63.
14. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика. – М.: Лукойл, 2000. – 185с.
15. Малик Л. К. Природные и антропогенные факторы разрушения гидротехнических сооружений (причины, последствия, меры предупреждения) // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. ВИНТИ, 1997, вып. 11, с. 81 – 110.
16. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. – Проблемы безопасности. – М.: Наука, 2005. – 354 с.
17. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. – М.: Академия, 2008. – 368 с.

18. Стефанишин В.Д. Оценка нормативной безопасности плотин по критериям риска // Гидротехническое строительство. – 1997. – № 2. – С.44 – 47.
19. Ковалевич О. М. Понятие «риск» и его производные // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – Вып. 1. – С. 91 – 98.
20. Костров А.В., Ткачева А.А. Защита населения и территорий: семантический анализ, синтез и формализация терминов // ВИНТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2000. – № 6. – С. 24 – 47.
21. Солнцева Г.Н. Когда и почему рискуют люди (опыт психологического анализа феномена риска) // Человек. – 2001. – № 2. – С. 102 – 112.
22. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544 с.
23. Ортвин Ренн. Три десятилетия исследования риска: достижения и новые горизонты // Вопросы анализа риска. – 1999, Т. 1. – № 1. – С. 80 – 90.
24. Ваганов П.А., Манг-Сунг Им. Экологические риски. – СПб.: Изд-во С.- Петерб. ун – та, 2001. – 152 с.
25. Мягков С.М. География природного риска. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.
26. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. – М.: Наука, 1969. – 120 с.
27. Маньков В.Д. Безопасность общества и человека в современном мире. – СПб.: Политехника, 2005. – 551 с.
28. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1981. – 526 с.
29. Управление риском: Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000. – 431 с. – (Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»).
30. Элиот М.У. Основы финансирования риска. – М.: Инфра-М, 2007. – 138 с.
31. Половко А.И., Гуров С.В. Надежность технических систем и техногенный риск. – СПб.: СПб Лесотехническая академия, 1998. – 119 с.
32. Радаев Н.Н. Элементы теории риска эксплуатации потенциально опасных объектов. – М.: РВСН, 2000. – 323 с.
33. Лещинський О.Л., Школьний О.В. Економічний ризик та методи його вимірювання. – К.: «Дельта», 2005. – 112 с.
34. Ястремський О. Основи теорії економічного ризику. – К.: «АртЕк», 1997. – 248 с.
35. Яйли Е.А., Музалевский А.А. Что мы хотим определить, оценить, и чем мы хотим управлять? Методологические аспекты проблемы риска // Управление риском. – 2006. – № 3. – С. 50 – 63.
36. Ярочкин В.И. Секьюритология – наука о безопасности жизнедеятельности. – М.: Ось-89, 2000. – 400 с.
37. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева», 2002 – 589 с.

Стаття надійшла до редакції 27.10.2014