

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА РИЗИК ЇХ ВІДМОВИ

В.О. Хорошко, Ю.Є. Хохлачова

Національний авіаційний університет,
просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна; e-mail: professor_va@ukr.net

В роботі розглядаються базові фундаментальні чинники змісту математичної моделі, яку прагнемо побудувати, а саме, прогнозування надійності процесу функціонування складних систем та ризик їх відмови в найголовнішому базовому вигляді цих показників. Це є ймовірність безвідмовного процесу функціонування системи (надійність та живучість) в певних просторових і технологічних умовах протягом певного проміжку часу та за цих же умов – ймовірність відмови (ризик) систем.

Ключові слова: надійність складних систем, прогнозування надійності, ризик відмови складних систем, живучість систем.

Вступ

Однією з головних проблем науки та техніки є створення складних систем різного призначення, від ефективності й надійності функціонування яких залежать всі області діяльності суспільства. Прикладом таких систем є інформаційно-обчислювальні системи та мережі, автоматизовані системи керування складними процесами та інші. Зростаюча складність цих систем не дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності та живучості функціонування їх тільки за рахунок підвищення якості складових елементів. Теоретичні дослідження та практика експлуатації показали, що необхідно врахувати ризик їх відмови та його вартість.

Дослідження взаємозв'язаної та емпіричної залежності ризику та його вартості, де під ризиком розуміється його базове тлумачення як ймовірності негативної події або ризик розуміється в абсолютному вигляді. В результаті аналізу формуються підходи до побудови математичної моделі функції вартості ризику у вигляді аналітичного виразу з метою використання її в можливому процесі оптимізації складних систем [1].

Якщо досліджувати сучасний рівень системного підходу до вивчення об'єктивних процесів, які відбуваються в суспільстві взагалі і в його компонентах – управлінні, технології, економіці, то неважко встановити, що вік ґрунтується на двох складових. Перша складова, а точніше, первинна, що визначається об'єктивною реальністю, – це аналогії, які характеризують усі процеси, де б вони не протікали, чи у суспільстві, чи в його окремих галузі, зокрема в складній техніко-технологічній системі. Друга складова є більш суб'єктивною. Це формальне виділення, ідентифікація та формалізація цих аналогій, інформаційне втиснення їх змісту в межі рівнянь, нерівностей чи інших математичних об'єктів, розбіг яких допустимий за потреби використання. Тому альфа та омега системного підходу до вивчення всього цілого та компонент є дослідження процесу функціонування складних систем, а вірніше, процесу якісного функціонування, де критерій якості будується відповідно до потреб способів або засобів використання системи. Побудова критерію якості є одним з найскладніших наукових завдань, розв'язання якого теоретично зумовлює реальні можливості

досягнення показника його певного рівня. Тому від аналітичного його вигляду (чи іншої структури математичної моделі) залежить можливість його оптимізації чи іншої раціоналізації, адже поки що може бути не розроблений (або в принципі не існувати) математичний апарат, що забезпечує реалізацію цієї процедури. Звідси випливає, що вирішально важливо будувати критерій, враховуючи та зважаючи на його реальну форму й зміст, бо перше допускає математичну можливість вирішення задачі, а друге – досягнення саме тих цілей (чи близьких до них первісних або похідних), що задовольняють дослідника-розробника. Саме цим пояснюється надзвичайно поширена форма критерію якості у вигляді лінійної моделі, бо лінійне програмування є найбільш розроблена й вивчена галузь математичних моделей, хоча рівень застосовності розв'язання лінійних завдань досить низький в силу дуже наближеного, в основному, модельного відображення реальному процесу лінійними залежностями, тобто в силу низької адекватності математичної моделі.

Основна частина

В багатьох реальних вирішених практичних задачах лінійні моделі приносять надзвичайну користь, і класичні приклади цього твердження широко відомі в теоретичній та застосованій літературі [1-4]. В зв'язку з цим виникають питання: лінійність - це є форма чи це є зміст моделі? Де знаходиться границя між формою та змістом в моделі? Чи існує така границя? Це надзвичайно цікаві аспекти проблеми математичного моделювання, і відповідь на них можна знайти, починаючи з кінця, тобто з цільової функції, що формулюється потребами споживача. Хоча можна виділити фундаментальні базові чинники, які, по-перше, необхідні для складання форми моделі (клас математичного об'єкту, наприклад, клас неперервних функцій та ін.) і так само необхідні для складання змісту моделі (прогноз надійності та живучості систем, прогноз ризику). Між тим крайніми фундаментальними чинниками модель може містити показники, що еволюціонують від форми до змісту і навпаки, в залежності від кінцево сформованої цільової функції завдання та накладених на неї обмежень. Для прикладу можна навести елемент моделі – експоненціальна функція. Цілком ясно, що вона є об'єктом форми при визначенні певних числових розв'язків з її застосуванням, але не менш зрозуміло, що вона є змістом моделі при дослідженні й оцінюванні її адекватності.

З цього випливає, що математична модель є надзвичайно глибоким і об'ємним сховищем інформації, що визначається певними показниками, грані істини яких повертаються до нас чи формою моделі, чи її змістом. І така діалектична сутність (діалектика полягає в тому, що один чинник є в другому, для другого і через другий чинник і навпаки) її надзвичайно цікава, але з'ясування сутності зв'язку відкладемо, бо це є змістом іншого дослідження. В даній роботі нас цікавлять базові фундаментальні чинники змісту математичної моделі, яку прагнемо побудувати, а саме, прогнозування надійності процесу функціонування складних систем та ризик їх відмови в найголовнішому базовому вигляді цих показників. Це є ймовірність безвідмовного процесу функціонування системи (надійність та живучість) в певних просторових і технологічних умовах протягом певного проміжку часу та за цих же умов – ймовірність відмови (ризик) систем. Позначимо ці ймовірності відповідно через p та x , тоді, згідно з визначенням:

$$p + x = 1, \quad (1)$$

бо нічого не може відбуватися інакше, ніж те, що якимось відбувається – це філософське тлумачення, а імовірна сутність – альтернативність подій, кожна з яких протилежна іншій і в сумі складають увесь простір подій.

Опоненти можуть заперечувати такому погляду, бо на їх погляд є примітивізм в трактуванні ризику. Адже введена величина x настільки є проста, хоча математично прозора і змістовно ємна, настільки й змістовно бідна, що не відрізняє ймовірність x -ризиків не зустрінуться з «приятелем» від цієї ж таки ймовірності x (те ж саме числове значення). Навіть більше, в x не видно ні розсіювання значень випадкової величини, ні математичного очікування її чи функції від неї, ні поганих, або й катастрофічних наслідків її низького рівня, ні транжирного вираження коштів на забезпечення цього рівня x -ризиків втрати зустрічі з подією. Хочемо заспокоїти опонентів, Ви маєте рацію, Ви праві. Особливо, якщо зважити на термін «ризик в абсолютному виразі» [2,4], що майже повністю змістовно співпадає з (1), або «системні показники ризику» [2,4], що перегукуються з системою показників ризику, з їх можливими межами значень. Але не менше від опонентів і ми претендуємо на істину. Річ в тому, що визначення й твердження опонентів лежать в одній півплощині, наші – в іншій. І вони поки що не перетинаються. На нашу користь можна віднести те, що в запропонованому тлумаченні x є базовим для моделі, а тому плідним для побудови інших показників, що конструктивно можуть і мають бути певними функціями від ризику x чи його вибіркового значення оцінки, або бути функціоналами різного споживчого типу на траєкторіях статистичного процесу надійності (живучості) і ризику функціонування складної системи. Але в основі лежить той самий x . Підкреслимо, що в запропонованій схемі ризик – категорія якісна, категорія якісного стану об'єкта, тому виміряти його можливо лише ввівши вимір (міру) якості. Це ж можна зробити, якщо побудувати показники якості (ризиків), причому не просто показники, а, наголошуємо, вимірні показники. Вважаємо, що крок на цьому шляху зроблено: це показник в абсолютному вигляді [4], або x в формулі (1).

Якщо (1) є моделлю, то, що чітко окреслюється образом, а що прообразом, і які взаємозалежні можуть трактуватись цим співвідношенням, має певний інтерес до трактувань відносно причинно-наслідкового зв'язку, що пов'язується з ризиком, точніше з рівнем його показника x . Але це не є в цій роботі науковою теорією, тобто теорією, що нами досліджується. Це є щось інше. Воно знаходиться в прикладній, тобто застосовній галузі, а там є свої цінності, свої форми й зміст і принаймні лише для них критерії. Ми створюємо теоретичний інструмент, вдосконалюємо, поліпшуємо його застосовні властивості. Але саме застосування – предмет окремої дослідної роботи. Особливо важливим є те, що при цьому показник ризику x – інформаційно невичерпний, і кожен з нього може почерпнути стільки, скільки може. Для тих, хто не хоче напружувати мислення, наведемо приклад, що зачіпає лише застосовану складову його інформаційної місткості.

1. Ризик (ймовірність) не зустріти приятеля $x=0,01$. Це практично є достеменною подією зустрічі, фактично ризику не має. Число 0,01 є надзвичайно малим, цим можна знехтувати.

2. Ризик (ймовірність) відказа складної системи (наприклад, поломка літака в польоті) $x = 0,01$. Адже це явна загроза катастрофи. Число 0,01 є дуже великим.

Одне й те саме число (як рівень показника ризику) в залежності від погляду споживача може бути надзвичайно малим, яким можна знехтувати, і катастрофічно великим. Маємо надію, що наведені аргументи в деякій мірі можуть задовольнити опонентів.

Далі продовжимо досліджувати величини p і x з метою використання їх в математичній моделі функції вартості ризику, сутність якої буде висвітлено далі. Тут ми вважаємо доречним стверджувати, що категорії надійності (живучості) і ризику є вічними. Тобто, скільки існує цивілізація, людина завжди оцінювала ризик і надійність

існування, наступного свого кроку. Нехай інтуїтивно, наївно, але оцінювала. Лише зі зростанням культури мислення вона відокремила ці поняття і тепер стала нерозлучна з ними все життя. Тому наука Ризику, наука Надійності (живучості) є вічною, скільки і як не розвиватиметься суспільство. Ця наука збагачуватиметься новими моделями, застосовними процедурами, щоб задовольнити неперервно зростаючі потреби людини в суспільстві її з іншими методами та засобами продуктів розвитку цивілізації. І завжди ці моделі будуть містити показники p і x , або їх похідні модифікації, що гарантуватиме зростання їх адекватності. Тому зрозумілим вважається, що висока якість об'єкту має базуватись на високому рівні його живучості (надійності), на допустимо низькому рівні ризику.

Далі спрямуємо міркування на з'ясування вартості ризику. Щоб зменшити ризик, потрібні певні затрати, тому логічним є поняття «вартості ризику», а точніше «вартість рівня x ризику», що визначається витратами на його досягнення.

Якщо дивитися на речі зі сьогодення, то в сучасних умовах ускладнювались системи, тому оцінка ризику є необхідною вже на стадії їх розробки та проектування [3,4]. Роботи з досягнення оптимального ризику обов'язково повинні починатися на ранніх стадіях розробки складних систем та продовжуватися на стадії її виробництва. Це набуває особливої ваги у випадку, коли розробка підсистем складної системи проводиться різними інститутами, а виробництво її здійснюється теж на різних підприємствах. Якщо за цих умов не наведені певні критерії ризику та не накладені певні обмеження на характеристики ризику окремих частин системи та підсистем, то може бути сформоване певне судження щодо можливості систем, тобто її тактико-технічні характеристики, і загалом можливості застосування й споживчі чинники якості. Тому виникає задача встановлення вимог до складних по ризику для окремих елементів та вузлів системи, що базується на вимогах до ризику по всій системі. Якщо розподіл вимог реалізувати доволіно, то ця задача має, взагалі кажучи, безліч розв'язків. Як з цієї необмеженої множини визначити раціональне рішення, тобто в деякому сенсі оптимальне, – питання, що є сутністю поставленої тут задачі. Один з можливих способів відповіді на дане питання і розглядається далі.

Розрахунок оптимальних характеристик складової ризику кожного елемента системи, який би впливав з вимог до системи в цілому, є важливою проблемою початкового стану розробки та конструювання складної системи. Не зовсім коректно вжити термін «елемент» в роботі. Він вживається лише в смислі відносної простоти у порівнянні зі всією складною системою. Сам по собі елемент може бути також складною системою, і, можливо, доцільніше говорити про складну систему, створену своїми підсистемами.

Переходячи від загальних міркувань до конкретних, бачимо, що задача визначення допустимого рівня ризику в роботі того чи іншого елемента на основі встановлених вимог до ризику системи очевидно розв'язується неоднозначно. Кількість всіх можливих рішень, взагалі кажучи, складає теоретично $(n-1)$ -параметричну множину, де n – число, що дорівнює кількості елементів системи.

Очевидність цього твердження розглянемо на прикладі. Припустимо, що система, яка складається з десяти елементів, повинна мати ризик 5%, тобто з імовірністю 0,05 вийти з ладу, не пропрацювавши певний проміжок часу. Але характеристика ризику системи визначається параметрами ризику елементів. Якщо через x позначити функцію ризику системи, то в розглянутому прикладі

$$x(x_1, x_2, \dots, x_{10}) = 0.05, \quad (2)$$

де x_i – характеристика ризику i -го елемента ($i = 1, 2, \dots, 10$).

Таким чином, рівняння (2) є загальним математичним записом тих вимог та обмежень, які накладаються на елементи системи, а точніше на їх характеристики ризику. Але оскільки рівняння (2) має десять змінних x_1, x_2, \dots, x_{10} , то значення дев'яти з

них можна вибрати довільно, і лише ризик одного елемента доведеться розрахувати, виходячи з ризику системи та ризику вибраних дев'яти елементів. Користуючись рівнянням (2), це можна записати так:

$$x_j = x^{-1}(x_1, x_1, \dots, x_i, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_{10}), j = 1, 2, \dots, 10; i = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, 10, \quad (3)$$

де x^{-1} – обернена функція до функції (2), x_i – характеристика i -го елемента з тієї дев'ятки, для кожного елемента якої довільно вибиралися вимоги по ризику, x_j – розрахунковий ризик j -го елемента. Довільність вибору значення ризику елементів тут розуміється не в формально математичному, а в фізичному сенсі. Це означає, що значення x_i вибирається з можливих допустимих значень i -го елемента. Отже, знайдений зі співвідношення (3) x_j , є коренем рівняння (2), в якому всі x_i при $i \neq j$ фіксовані й фігурують в рівнянні як параметри. Оскільки кількість цих параметрів дорівнює дев'яти, то кількість значень x_i являє собою нескінченну дев'яти-параметричну множину.

З прикладу випливає, що задача визначення вимог до ризику кожного елемента системи, які ґрунтуються на вимогах до ризику всієї системи, має нескінченну множину рішень. Кожне з таких рішень має свої індивідуальні особливості та в певному сенсі свої недоліки та недосконалості й свої позитивні якості. Тому й постає проблема: як з безмежної кількості рішень визначити оптимальне за повним критерієм, чи хоча б раціональне? На практиці в більшості випадків цю проблему поки що розв'язують наступним чином. Знаходять декілька рішень даної проблеми, а потім їх евристично оцінюють. В залежності від досвіду розробника знайдені рішення будуть різними, кожен з них матиме свої позитивні та негативні сторони. У подальшому з побудованих рішень вибирають найкраще за евристичними міркуваннями та уявленнями розробника системи і згідно до нього проєктують систему. Але найкраще рішення з даної сукупності емпірично побудованих рішень ще не є найкращим з можливих, тобто оптимальним. Разом з тим під час розв'язання практичних задач розробники за відсутності математично-аналітичних даних досить часто мають задовольнятися лише цим наближенням, далеким від оптимального рішення.

Буває, що заради того, щоб хоч якось знайти рішення задачі, всі зв'язки та функціональні залежності, які мають місце в даній проблемі, лінеаризують, а потім з таким досить вільним припущенням розв'язують задачу лінійного програмування. Але це не є виходом із проблеми, оскільки лінійні моделі не можуть чітко та адекватно описати ймовірність процесу ризику.

В сучасних умовах, коли з'являються все складніші системи, проблема оптимального розподілу вимог до елементів системи стає надзвичайно актуальною. За оптимальним рішенням цієї задачі доводиться враховувати багато факторів, що впливають і на ризик у системі, і на саму структуру рішення. Так, рівень ризику у системі залежить певною мірою від обсягу проведених під час конструювання дослідницьких робіт, розмірів системи, маси системи тощо.

На рівень ризику системи також впливають інтервали допусків параметрів її елементів, контроль якості деталей під час виготовлення, типи й методи випробування та багато інших факторів. Все це має прямий зв'язок з витратами коштів. При більших витратах коштів на деякий елемент для його розробки може бути залучена більша кількість людей, кращі фахівці, досконаліше обладнання, використання сировини вищої якості, досягнутий кращий контроль якості продукції, та можуть бути проведені більш якісні випробування системи, в тому числі на ризик. Таким чином, чим більше коштів було вкладено в розробку та виробництво, тим вищу якість виключаючи ризик, матиме розроблювана система.

Таким чином, за аналогією з [5], можна стверджувати, що існує жорсткий зв'язок, детермінований чи стохастичний, між кількістю витрат на якість системи і рівнем

ризик x . Тобто має сенс говорити про вартість рівня ризику x , або про функцію вартості ризику, яку позначимо через $B(x)$, тобто:

$$B = B(x). \quad (4)$$

Необхідно дослідити властивості (4), які диктуються як фізичним змістом трактування змінних і констант, так і математичною структурою.

Ризик – це прорив крізь невизначеність у невідомість з недостатньо проінформованим (поінформованим) майбутнім, де можливо підстерігають нас негативні наслідки. Там, де зростає інформованість, зменшується невизначеність і зникає ризик. Якщо через A позначимо випадкову подію, яка відображає (моделює) невизначеність небажаного наслідку її випробування, то можливі наслідки його визначатимуть наслідки цього ризику – випробування. Тоді випробування - ризик? Не зовсім так, це щось ширше інформативно.

Визначення. Ризиком називається стан передвипробування або випробування випадкової події, невизначеність настання наслідку якого усвідомлено з небезпекою, але з надією на її оминучість. Ризик – це те, що передує відповіді на проблему, яка поставлена особою, що приймає рішення; ризик-фактор – це фактор (випадок, складний елемент A), що сприяє негативному наслідку випробування.

Визначення. Ймовірність (P) того, що при випробуванні події A настане небажаний результат, називається індексом ризику: $P = P(A)$. Дана імовірність є базовою характеристикою ризику. Всякий ризик формує так звану зону, в якій напруженість ризикового середовища визначається у відсотках за формулою $H = P * 100\%$.

Ризик і безпека. Нехай в стахостичному (ризиковому) середовищі розглядається деякий об'єкт, який ми позначимо подією A^0 . Взагалі кажучи, можна говорити про інформаційний об'єкт, який описується задовільно визначеним станом його перебування. Будемо розглядати подію A , як таку, що моделює (відображає образ, реальний об'єкт – оригінал або прообраз) визначений стан його перебування. А це значить, що з погляду стохастики можливий інший стан його, який не є визначеним в попередньому сенсі. Оскільки в даний момент t_1 часу A^0 знаходиться (а це і є випробування) у визначеному стані, то в результаті випробування в момент, де $t_2 > t_1$ подія A може перейти в інший стан, що не є визначений, а також може зберегти цей стан. Ризик зміни стану (такого переходу) позначимо через α (індекс ризику), а імовірність (надійність) збереження його – через β . Нехай в даний момент часу t_1 об'єкт A знаходиться в задовільному стані. Нас цікавить здатність його знаходження в цьому стані ще $t_2 - t_1$ часу, тобто до моменту t_2 . Ймовірність цієї події є суттєвою характеристикою безпеки і визначає її поріг. Надійність, з якою зберігається визначений стан події A , називається порогом безпеки об'єкту A . Звідси безпека об'єкту A^0 має визначатись (вимірюватись) своїм порогом β . Як правило, для практики має сенс розгляд об'єктів з відносно невисоким індексом ризику втрати (зміни) стану об'єкта, приміром $\alpha = 0,01$. Звідси поріг безпеки має бути $\beta = 1 - 0,01 = 0,99$, і тоді будемо говорити (дефініція), що об'єкт A^0 убезпечений з порогом безпеки порядку дві дев'ятки (0,99). Такий підхід дає можливість варіювання формалізованого визначення поняття безпеки з різним рівнем інформативного наповнення.

Визначення 1. Безпекою порогу β об'єкта A^0 називається визначений стан моделі його перебування – випробування події A з можливими наслідками втрати даної визначеності з індексом ризику α або її збереження надійністю $\beta = 1 - \alpha$.

Визначення 2. Безпекою об'єкта A^0 рівня (порогу) β визначається стахостичний стан його перебування (випробування події A) з можливим наслідком його збереження, або порушення з ймовірністю (ризиком) α або її збереження з надійністю $\beta = 1 - \alpha$.

Визначення 3. Рівень безпеки β , що визначається протилежним рівнем (індексом) ризику $\beta = 1 - \alpha$ – називається порогом безпеки.

Визначення 4. Безпекою об'єкта A називається його здатність зберігати поточний стан протягом певного проміжку часу в певних часових, просторових і технологічних умовах. За цим визначенням маємо, що безпека – це стан випадкової події, точніше процес випробування.

Визначення 5. Порогом безпеки об'єкту A називається ймовірність цієї події. Для деякого класу систем (об'єктів) на практиці може бути встановлене директивне значення порогу безпеки $\beta = \beta^*$, після якого система (об'єкт) з $\beta \geq \beta^*$ визначається (вважається) убезпеченою. Ця величина β^* впливає із класу відповідальності ПФС-об'єкту і не може бути встановлена теоретично абсолютним значенням.

Коли говорять про безпечну систему, то мають на увазі збереження нею наявного стану в наявних умовах і протягом певного часу. Оскільки сам стохастичний стан перебування залежить від різних обставин, то ризик втрати такого стану (навмисно зумовлений чи ні) є ризиком порушення безпеки системи. Індекс (рівень) цього ризику і визначає рівень небезпеки системи.

Невизначеність - ризик - безодня. Незнання, а точніше безодня незнання визначає невизначеність. Подолання невизначеності – це оволодіння окремими частинами безодні. Невизначеність є генератором ризику. Як же сприймається на відчуття ризик? Відомо, що випадкові події, а ще краще, випадкові величини сприймаються (характеризуються) ймовірносним розподілом, характеристиками-функціоналами (очікуване значення, варіація).

Для аналітичного сприйняття ризику вводимо показники (ідентифікатори ризику) і характеристики ризику. Що до ідентифікації ризику як явища та поняття, можна навести такі: індекс ризику, а також ризик-невизначеність або точніше ризик-неоднозначність. Ці показники ризику ідентифікують його (являють собою кожен окремо) нормовано-імовірнісно (рівень імовірності) та кількісно-інформативно (величина ентропії невизначеності-неоднозначності). Ризик ідентифікується через його показники та через характеристики, в основному, через числові, оскільки ми говоримо про математичний аналіз ризику, вірніше про його теорію як точну науку.

Щодо функції ризику, то можуть бути різні підходи її розуміння. Оперуючи в рамках (межах) теорії точної (імовірнісної) науки, ідентифікатори (показники) ризику і його характеристики (в основному, числові для їх математичного аналізу, оскільки бажаємо залишатися в межах цієї теорії) функції ризику мають поєднувати (стохастично зв'язувати, оскільки мова про детерміновано непередбачувані явища-сутності) величини (характеристики-показники) як два фактори одного й того ж явища (сутності) ризику (ризик-фактора). Нехай $\omega \in B$, де B – ризик-подія, і числова функція $\xi = \xi(\omega)$ побудована таким чином, що нерівність $\{\xi < x\}$ є подією для будь-якого дійсного x ; тоді раціонально будувати ризик-подію саме такими подіями типу $\{\xi < x\}$. Якщо індекс ризику – ймовірність явища $\{\xi < x\}$, то в якості функції ризику розумно розглядати величину, то зміну за зміною величини дійсного числа x – як аргумента цієї функції, розглядаючи (інтерпретуючи) саме величину x числовими показниками ризику. Таким чином залежність $F(x) = P\{\xi < x\}$ можна трактувати моделлю (точніше, однією з можливих) функцій ризику, $R(x) = \{\xi < x\}$. Відразу ж нагадуємо аналогії з теорії надійності, де функція надійності, точніше, її модель, має вигляд $N(x) = \{\xi \geq x\}$. Тоді формально-аналітично маємо прозоре підтвердження, що

$$R(x) + N(x) = P\{\xi < x\} + P\{\xi \geq x\} = P\{\xi \in (-\infty, \infty)\} = P\{\Omega\} = I,$$

тобто, що ризик і надійність (живучість) – повна альтернатива категорій.

А тепер опустимось до можливої реальної ситуації (інженерно-економічної інтерпретації) сказаного. Нехай маємо B – певну економічну структуру, наприклад, деякий фонд, для якого час існування заплановано (детермінується) і становить рівно x , а ξ – реальний час (випадковий) його життя. Всі наші економічні прибуткові-збиткові операції, а також організаційно-технічні ми плануємо реалізувати в межах відведеного чи сплановано-розрахованого часу x (зауважимо, що не тільки ми розраховали-спланували величину x , то це вже є детермінована величина). Майбутнє допускає реалізацію одного з двох альтернативних наслідків: або $\{\xi < x\}$, або $\{\xi \geq x\}$. Другий наслідок говорить про надійність (живучість) існування нашої компанії, адже реальний час її життя є не менше запланованого часу x . Тому його зручно інтерпретувати як фактор надійності або живучості (ФН) компанії. І тоді для ФН $N(x) = \{\xi \geq x\}$ буде $P\{\xi \geq x\}$ її індексом надійності (живучості), тобто $I_{NX}P\{\xi \geq x\}$.

Перший наслідок $\{\xi < x\}$ є не що інше, як ризик-фактор і тоді $I_{RX}P\{\xi < x\}$. При зміні запланованого часу x буде змінюватись і I_{RX} , (наприклад, коли x збільшується, то I_{RX} також збільшується і навпаки). Будемо мати (розуміти) функцію ризику $F_R(x) = P\{\xi < x\}$ і відповідно функцію надійності (живучості) $F_N(x) = P\{\xi \geq x\}$. В межах експоненційно-геометричного (марківського, тобто без післядії) представлення моделювання нашого буття, отримані функції набувають більш ясного експоненційного вигляду $F_R(x) = 1 - e^{-hx}$, $F_N(x) = e^{-hx}$, де згідно відомих результатів теорії ймовірності, параметр законів λ^{-1} є математичним очікуванням (ймовірно середнім) часу ξ , тобто $\lambda = 1/M\xi$. В межах марківської теорії зручно ввести величину "стандартного" рівня індексу ризику, який відповідає ймовірності

$$I_R = P\{\xi < x / x = M\xi\} = P\{\xi < M\xi\} = 1 - e^{-1} = 1 - 1/e.$$

Доцільно розглядати послідовність "стандартних" рівнів ризику для практичного застосування в експертному наближеному оцінюванні, що відповідає значенням запланованого часу x у формі безмежної (в обидва кінці) послідовності, а саме:

$$x \in \{\dots, 1/nM\xi, \dots, 1/3 M\xi, 1/2 M\xi, M\xi, 2M\xi, 3M\xi, \dots, nM\xi, \dots\}.$$

В межах прийнятих моделей легко проілюструвати алгебру ризиків на прикладі числових характеристик ризику, зокрема операцію додавання ризиків.

Захист від ризиків. Людині доводиться захищатись від ризику, уникаючи його, зменшуючи його можливу негативність наслідків, переносити його на інший об'єкт, поступившись, виплатою, диверсифікувати його, розділивши з іншими. Природний захист: від дощу можна захиститись парасолькою чи в домі та ін. Інтелектуальний захист розраховує на прогноз погоди: не йдемо без парасольки та інш. Інтелектуально-природний враховує виробництво плащів, парасольок, щоб захиститись від дощу, будівництва наметів та ін. Інтелектуально-інформаційний захист дозволяє враховувати прогноз погоди, наукові дослідження та передбачення та ін.

Деякі думки. Яку б задачу ми не розв'язували – ми розв'язуємо задачу прогнозу. Дійсно ми маємо комплекс вихідних умов x , ми володіємо вмінням розв'язувати задачу (методами і засобами), тобто маємо оператор розв'язку завдання, а потім розраховуємо, а фактично передбачаємо (прогнозуємо) результат Y , тобто будемо з погляду формалізації співвідношення прогнозу

$$PX = Y. \quad (5)$$

Якщо ми володіємо результатом Y , а нас цікавить ресурс x , який був вчора витрачений на його здобуття, застосовуємо обернений оператор p^{-1} (якщо p^{-1} існує і про нього можна говорити) до співвідношення (5) і отримуємо

$$p^{-1}y = p^{-1}PX = IX = X, \quad (6)$$

де I – одиничний оператор. Тому співвідношення X і тим більше невизначеність завтра Y в сенсі прогнозу (5), або ж невизначеність сьогодення Y з невизначеністю вчора (ресурси, що продукували сьогодні), X – інтерполяція (6). Отож, невизначеність – це все, або майже все, що породжує проблеми та що є змістом будь-якої наукової діяльності та науки взагалі. Визначеність і невизначеність – альтернатива категорій. Вважають, що визначеним повністю є лише минуле, частково сьогодення; невизначеним є майбутнє, і ми будемо науки, щоб прогнозувати його (майбутнє), прогнозувати – розраховувати окремі його проблеми, програмувати – пророкувати окремі цікаві результати.

А тепер поміркуємо про минуле, чи так вже й достеменно воно визначено? Адже достовірність включає і безпомилковість, і достатність, і все охоплення інформації, і систему поглядів (світогляд), яким освітлюється ця інформація. Адже зрозуміло, що науковий світогляд з часом змінюється, і тому події далекого минулого фактологічно відображенні в той час пануючим світоглядом, який у поняттях (що змінюються) не завжди можливо адекватно відобразити сучасною мовою. Тому складно говорити про чітку границю, а тим більше межу між буттям визначеності і буттям невизначеності. Хоча альтернатива їх для кожної конкретної точки буття є абсолютною. Альтернатива категорій "визначеність"- "невизначеність" є абсолютною. Хоча границя між ними, а точніше межа є відносною і для кожної людини своєю (в силу рівня пізнання та поінформованості), відносною вона також є для певного часу, певного рівня культури.

Увесь світ і наше буття охоплені невизначеністю. Невизначеність потрохи завойовується визначеністю; там, де дивитись однозначно детерміновано не вдається, оглядають поглядом нову (але все ж таки завойовану у невизначеності) ланку. З цієї ланки не можна одержати достовірно інформації про її варіації, але ж зате можна приписати їм (цим варіаціям) певні імовірності. А це вже суттєвий крок до оволодіння новими продуктивними знаннями про неї, зокрема, приміром, будувати оцінки ентропії. Тож можна ще на ньому просунутись межею праворуч, долаючи невизначеність і прибавляючи визначеності.

Висновки

Щоб говорити про встановлення моделі функції ризику, необхідно дослідити її властивості, які диктуються як фізичним змістом трактування змінних і констант, так і математичною структурою, включаючи рівень її адекватності та аналітичної плідності в застосовуваних можливостях сучасного рівня розвитку математичного аналізу типів моделей, що розглядаються. Також розглянуто низку задач типу задач-визначень, задач-тверджень, задач оцінювання і аналізу. На перший погляд, вони розрізнені, з різних розділів науки, різні сюжетні лінії. Але в нас на це є інший погляд: вважаємо їх цілісно-об'єднаними, об'єднувчий стержень – формалізація, хоча не завжди вдається досягати належного рівня. Але це крок до побудови формалізації досліджуваних теорій, оскільки емпірично-вербальні структури їх дефіциту не складають.

Список літератури

1. Корнійчук, М.Т. Складні системи з випадковою зв'язаністю: ймовірне моделювання та оптимізація / М.Т. Корнійчук, І.К. Совтис. — К.: КНЕУ, 2003. — 374 с.

2. Єрмошик, В.В. Аналіз і оцінка ризиків інформаційної безпеки / В.В. Єрмошик, Я.В. Невоїт — К.: ПВП “Задруга”, 2015. – 123 с.
3. Креденцер, Б.П. Оцінка надійності резервованих систем при обмеженій вихідній інформації / Б.П. Креденцер, В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, Д.І. Могилевич, Л.С. Стойкова. — К.: Фенікс, 2013. – 336 с.
4. Хенди, Е.Д. Надежность технических систем и оценка риска / Е.Д. Хенди, Х. Кумамото. — М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
5. Корнійчук, М.Т. Ризик і безпека: кореляція категорій / М.Т. Корнійчук, В.О. Хорошко, Д.В. Чирков // Захист інформації, 2008. – Спец. вип. – С. 15-21.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И РИСК ИХ ОТКАЗА

В.А.Хорошко., Ю.Е. Хохлачева.

Национальный авиационный университет,
пр. Космонавта Комарова, 1, Киев, 03058, Украина; e-mail: professor_va@ukr.net

В данной работе рассматриваются базовые фундаментальные факторы содержания математической модели, которую хотим построить, а именно, прогнозирования надежности процесса функционирования сложных систем и риск их отказа. Причем в главном базовом виде этих показателей. Это вероятность безотказного процесса функционирования системы (надежность и живучесть) в определенных пространственных и технологических условиях в течение определенного времени и при этих же условиях - вероятность отказа (риск) систем.

Ключевые слова: надежность сложных систем, прогнозирование надежности, риск отказа сложных систем, живучесть систем.

FORECASTING THE RELIABILITY OF THE PROCESS OF FUNCTIONING OF COMPLEX SYSTEMS AND RISK OF THEIR DISCLAIMER

V.O. Khoroshko., Yu.E. Hohlachova.

National Aviation University, Cosmonaut
1, Komarova Str., Kyiv, 03058, Ukraine; e-mail: professor_va@ukr.net

In this paper we consider the basic fundamental factors of the content of the mathematical model, which we seek to construct, namely, predicting the reliability of the process of functioning of complex systems and the risk of their failure. Moreover, in the most basic form of these indicators. This is the probability of a fail-safe process of functioning of the system (reliability and survivability) in certain spatial and technological conditions over a period of time and under the same conditions - the probability of failure (risk) of systems.

Keywords: reliability of complex systems, prediction of reliability, risk of failure of complex systems, system survivability.