

УДК 621.3.019

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.3.2/06>**Зінковський Ю.Ф.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Уривський Л.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СУЧАСНИХ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ В КАТЕГОРІЯХ ВИПАДКОВОСТІ ТА ЙМОВІРНОСТІ

Створений інженерами апаратно-програмний комплекс (АПК) має задовольняти відповідні потреби людини, адже саме для цього він і створюється. З цієї точки зору вказаний об'єкт слід вважати наділеним відповідними споживчими властивостями, які мають проявляти усталеність в період його експлуатації, що визначається показниками його надійності, які для АПК визначеного призначення зазвичай доповнюються відповідними показниками безпеки. Проведено аналіз сутності поняття ймовірності як інструменту подолання неповноти і неточності інформації щодо досліджуваних подій. Розглянуто різні концепції (інтерпретації) ймовірності з точки зору їх теоретичного статусу і практичного застосування в задачах обчислення показників надійності та безпеки апаратно-програмних комплексів. Проаналізовані класична, статистична та аксіоматична концепції ймовірності, розкрито особливості кожної з цих концепцій, умови та застереження щодо їх застосування в інженерній практиці. Розкриваються причини невідповідності показників надійності, що розраховуються на стадії проектування пристроїв на підставі довідкових даних щодо інтенсивності відмов окремих компонентів, тим показникам, які спостерігаються в процесі експлуатації вказаних пристроїв. Акцентована необхідність обережно відноситися до оброблення результатів спостережень у тих випадках, коли серед отриманих даних є такі, що суттєво відрізняються від більшості. Зазначено, що обмеження, пов'язані із статистичною ймовірністю можна в більший або менший мірі нівелювати застосуванням концепції гіпервипадкових подій, однак широке впровадження цієї концепції стримується відсутністю відповідної експериментальної бази даних. На підставі проведеного аналізу сформульовані нагальні задачі, пов'язані з підвищенням ефективності обчислення показників надійності і безпеки апаратно-програмних комплексів.

Ключові слова: ймовірність, математична статистика, теорія ймовірностей, показники надійності, інструменти інженерії, апаратно-програмний комплекс.

Постановка проблеми. Різноманітні об'єкти, від персональних засобів комунікації до складних систем зв'язку й енергетики, все більше визначають поведінку людей, стають невід'ємними структурними елементами навколишнього середовища. Такі технологічні об'єкти на сьогодні у більшості слід віднести до апаратно-програмних комплексів (АПК) – технологічних систем, які включають технічні та програмні засоби, поєднані виконанням спільних завдань.

Прикладом сучасного АПК є апаратно-програмний комплекс ProMНМІ [1] в системі ІЕС61850, яка надає гнучку та відкриту архітектуру для пристроїв середньої та високої напруги. Комплекс забезпечує функціонування шлюзу для зв'язку диспетчера з пристроями енергетичних об'єктів. Комплекс створений на підприємстві «НВП «Промавтоматика», яке виконує комплексне постачання продукції для електроенер-

гетики, зокрема, проектування та організацію диспетчеризації телемеханізованих об'єктів та обробки телемеханічної інформації.

Будь-який створений інженерами АПК має задовольняти відповідні потреби людини, адже саме для цього він і створюється. З цієї точки зору вказаний об'єкт слід вважати наділеним відповідними споживчими властивостями, які мають проявляти усталеність в період його експлуатації, що визначається показниками його надійності, які для АПК визначеного призначення зазвичай доповнюються відповідними показниками безпеки.

Саме показники надійності і безпеки дозволяють зробити висновок щодо можливості проявлення АПК в процесі експлуатації своїх споживчих властивостей в повному обсязі й без загрози для людей та для навколишнього середовища, тобто дозволяють прийняти рішення щодо можливості і доцільності експлуатації даного АПК [2].

Первинне обчислення показників надійності і безпеки АПК здійснюється на стадії його проектування. В подальшому, в процесі експлуатації реалізується спостереження за поточним технічним станом (поточним рівнем показників) АПК, на підставі якого робляться висновки щодо необхідності реалізації відповідних процедур підтримання показників надійності та безпеки на належному рівні. В окремих (найбільш відповідальних) випадках на підставі результатів спостереження за поточним технічним станом АПК здійснюється уточнення тих чи інших показників надійності та безпеки розрахунковими методами. В якості методологічної основи підготовки даних як для обчислення показників надійності і безпеки, так і для оброблення інформації щодо поточного технічного стану АПК, на сьогодні інженерною спільнотою переважно приймається математична статистика, а в процесі відповідних обчислень застосовуються алгоритми теорії ймовірностей.

При цьому в більшості випадків забувають про сутність формування статистичних даних, про обмеження та застереження, які при цьому існують і які, власне, дозволяють застосувати алгоритми теорії ймовірностей для обчислень. Все це здатне призвести до хибних результатів, а отже й до прийняття неадекватних рішень щодо технічного стану АПК, можливості його подальшої безпечної експлуатації тощо. В той же час, на сьогодні створені, створюються і активно розвиваються методи обчислення показників надійності і безпеки АПК, якими в більшій або меншій мірі враховані вказані застереження й обмеження, а отже сприяють підвищенню адекватності обчислень, дозволяють перейти від обслуговування АПК в процесі експлуатації не за регламентом, а за поточним технічним станом.

Представлена робота є першою в циклі робіт, присвячених такому аналізу. При цьому, на підставі аналізу кожної з концепцій, формулюватимуться умови й обмеження її застосування в практиці обчислення показників надійності та безпеки АПК, а також визначатимуться задачі, вирішення яких здатне підвищити ефективність наявних інструментів в даній області.

Аналіз досліджень і публікацій. Кожна випадкова подія, пов'язана із функціонуванням і кінцевою надійністю технічних (апаратних) або програмних засобів, є наслідком великої кількості зовнішніх і внутрішніх (випадкових) причин, які неможна заздалегідь передбачити.

Значна кількість випадкових подій, залежно від їх конкретної природи, підпорядковується –

у певній сфері накопичення статистики – певним закономірностям. Аналіз варіативності ймовірнісної концепції призвана допомогти встановленню таких закономірностей при обробці статистики непередбачуваних подій.

Однією з перших концепцій, спрямованих на подолання інформаційного дефіциту в процесі реалізації обчислень, прийняття рішення щодо аналізованих подій, узагальнення результатів спостережень за тими чи іншими об'єктами, вважається концепція випадковості, ймовірності або ймовірнісна концепція.

Ймовірнісна концепція в задачах обчислення показників надійності (як і в процесі підготовки відповідних первинних даних) на сьогодні набула найбільшого поширення серед інженерної спільноти. В той же час далеко не всі користувачі ймовірнісних інструментів в повній мірі усвідомлюють зміст і сутність самого поняття ймовірності, концептуальних основ його застосування за тих чи інших умов, обмеження і застереження, якими відповідна концепція отяжена.

Отже, поняття ймовірності в процесі застосування відповідних інструментів на практиці має чимало інтерпретацій, кожна з яких виявляється ефективною і приводить до успіху за цілком визначених умов.

Класична інтерпретація ймовірності була історично першою спробою оцінити результати реалізації подій [3–5], причому подій, які характеризуються цілком конкретними властивостями. Вказані властивості полягають в тому, що різні реалізації відповідної події мають бути *рівноможливими*.

Згідно класичної інтерпретації ймовірності її кількісне визначення не передбачає проведення будь-якого емпіричного дослідження. Аналіз можливості реалізації відповідної події *заздалегідь* передбачає визначення величини ймовірності, яка відповідає такій реалізації (саме завдяки цій особливості класичну інтерпретацію ймовірності часто звать *априорною*).

В той же час, міра можливої реалізації деякої події також залежить від того, наскільки часто ця подія реалізується в процесі спостереження за деякою сукупністю подій, до якої серед інших належить і дана подія. Чим частіше повторюється дана подія, тим вища міра її можливої реалізації. На такій основі зародилася і почала розвиватися *інтерпретація ймовірності як відносної частоти реалізації масової випадкової події*, а саме частотна (статистична) інтерпретація ймовірності, яка уходить своїми коренями в античну науку. Чимало століть цією ідеєю і відповідними

висновками, що з нею пов'язані, користувалися на інтуїтивному рівні, активно застосовуючи в різних областях людської діяльності. Однак, послідовні і всебічні дослідження цієї концепції були вперше проведені англійським вченим Дж. Венном (англ. *John Venn* [6]) і подані у роботі «Логіка випадку» (1866 рік). З цього моменту частотна інтерпретація ймовірності набуває популярності серед фахівців, діяльність яких пов'язана з обробленням великих масивів повторюваних даних щодо відповідних подій (зокрема результатів спостережень) і це цілком зрозуміле, адже більшість вказаних подій неможливо звести до сукупності, в яких ймовірність їх реалізації була б однаковою, і, як наслідок, неможливе застосування класичної інтерпретації ймовірності.

В двадцятому сторіччі поняття ймовірності та інструменти на цьому понятті засновані опинилися в центрі уваги не тільки фахівців технічних галузей, де сам факт випадковості реалізації подій, почав набувати все більшої ваги, але, як наслідок, й філософської спільноти.

Отже, подальший розвиток частотна інтерпретація ймовірності отримала в 20-х роках минулого століття в роботах Р. Мізеса (нім. *Richard Edler von Mises* [7]), який суттєво доповнив і розширив висновки Венна. Мізес розглядав ймовірність як математичний артефакт, що відображає нескінченні послідовності, результатів спостережень, яким притаманні відповідні властивості, тобто спочатку вводився артефакт, а потім здійснювалося співставлення цього артефакту з реальністю. В основу вказаного артефакту було покладено поняття про *відносну частоту* реалізації масової випадкової події при достатньо тривалих спостереженнях. При цьому величина ймовірності у всіх подібних ситуаціях визначалася на підставі статистичних процедур, і, як наслідок, отримала назву *статистичної ймовірності*.

Існування і практична необхідність дослідження подій, за якими можна спостерігати виключно в умовах, що постійно змінюються, і призводить до поняття *гіпервипадкових* подій [8; 9]. Характерна особливість таких подій полягає в неможливості застосування описаного поняття частотної ймовірності, адже частота реалізації події за вказаних умов не матиме границі при будь-якому збільшенні спостережуваного числа реалізації події.

Аксиоматична теорія ймовірностей Колмогорова [10] в математиці розглядається як окремий напрямок теорії міри, що спирається на поняття і методи теорії множин. В рамках цієї аксиоматичної теорії

поняття ймовірності розглядається як не визначене *початкове поняття*, як деякий артефакт, який задається виключно через свої властивості (так само як визначається поняття «точка» в геометрії).

Незважаючи на довгу історію існування концепції ймовірностей, лише в першій половині ХХ сторіччя ця концепція стала самостійним розділом математики і була «оформлена» як математична теорія (теорія ймовірностей). Це призвело до суттєвого поширення ймовірнісних інструментів в найрізноманітніших областях людської діяльності (і, зокрема, в інженерній практиці), однак не тільки не надало відповіді на питання «що є ймовірність?», а, навпаки, актуалізувало завдання інтерпретації самого поняття ймовірності та змісту ймовірнісних висновків, ускладнило пошук такої (краще було б універсальної, єдиної, узагальненої) інтерпретації ймовірності, яка б не тільки відповідала вимогам логіки та методології відповідного дослідження, але й одночасно була б природною, відповідала б повсякденним уявленням та інтуїціям, пов'язаним з поняттям ймовірності та його вже відомими застосуваннями.

Постановка завдання. Наведені аргументи щодо застосування ймовірнісної концепції в інженерній практиці актуалізує вирішення декількох пов'язаних одна з одною задач, якими визначається простір даного дослідження.

Перше. Аналіз варіативності концепції ймовірності, яка призвела до формування строгої математичної теорії ймовірностей, з однієї сторони, і до широкого застосування на практиці математичної статистики без достатнього теоретичного обґрунтування останньої, з другої сторони.

Друге. Встановлення області і особливостей застосування існуючих концепцій ймовірності до вирішення інженерних задач, пов'язаних з обробленням результатів спостережень та обчисленням рівня показників надійності і безпеки.

Третє. Формулювання завдань, вирішення яких має сприяти підвищенню рівня адекватності прогнозування показників надійності і безпеки АПК в процесі експлуатації.

Метою даної роботи є доведення до інженерної спільноти змісту і сутності різних інтерпретацій поняття ймовірності з огляду на свідоме й ефективне застосування відповідних інструментів щодо оброблення результатів спостережень, обчислення показників надійності та безпеки АПК, на розуміння шляхів розвинення вказаних інструментів, в тому числі на підставі інших концепцій в тій чи іншій мірі пов'язаних з категорією ймовірності.

Виклад основного матеріалу Класична (симетрична) інтерпретація ймовірності

Основою класичної інтерпретації ймовірності є ствердження, що різні реалізації відповідної події мають бути *рівноможливими*.

В загальному випадку, якщо всі (нехай їх буде N) події розгляданої сукупності рівноможливі, а кількість подій, що сприяють реалізації деякої події A , становить n , то ймовірність реалізації такої події дорівнюватиме n/N . Саме такий підхід до визначення ймовірності детально викладений Якобом Бернуллі (нім. *Jakob Bernoulli* [11]) в його роботі «Мистецтво пропозицій». Суттєву увагу у своїй науковій діяльності поняттю ймовірності приділяв і П. Лаплас (фр. *Pierre-Simon de Laplace* [12]), який в роботі «Дослід філософії теорії ймовірностей» всебічно розглянув класичну інтерпретацію поняття ймовірності і визначив її як *відношення числа сприятливих реалізацій деякої події до числа всіх можливих реалізацій цієї події, причому різні реалізації досліджуваної події мають бути однаково можливими (симетричними, рівноможливими)*. В назві своєї роботи Лаплас використав термін «теорія ймовірностей», однак до побудови теорії ймовірностей на той час було ще далеко.

Аналіз можливості реалізації відповідної події *ззадалегідь* передбачає визначення величини ймовірності, яка відповідає такій реалізації (саме завдяки цій особливості класичну інтерпретацію ймовірності часто звуть *априорною*).

Класична інтерпретація поняття «ймовірність» містить два протиріччя логічного характеру.

Перше. Однакову можливість реалізації досліджуваних подій над то важко, а точніше, практично неможливо гарантувати і, тим більше, перевірити на практиці. Поняття однакової можливості реалізації подій слід віднести до області ідеального, яке охоплює весь простір дослідження (спостереження), і розглядати як ідеалізовану модель відповідного стохастичного процесу.

Друге. Наявність порочного кола щодо визначення самої ймовірності. Адже в рамках класичної інтерпретації ймовірність визначається через однакову можливість реалізації подій, яка за своєю суттю означає однакову ймовірність (рівноймовірність) реалізації цих подій, тоді як априорне введення поняття рівноймовірності, в свою чергу, передбачає попереднє визначення ймовірності.

З метою подолання вказаних труднощів класичної інтерпретації ймовірностей було запропоновано сприймати вірними ті судження і висно-

вки, для виключення з розгляду (відкидання) яких не має достатніх підстав, що було сформульовано як *принцип індивідуальності*. Відповідно до цього принципу ймовірність реалізації двох подій пропонується вважати однаковою (незалежно від того виконується це положення у реальності чи не виконується) за умови, що відсутні підстави для зворотного припущення.

Легальний аналіз принципу індивідуальності (який слід розглядати як принцип правдоподібності висновків щодо властивостей досліджуваних подій) і його застосування як в теоретичних дослідженнях, так і в практичній діяльності вказує на існування двох напрямків класичної концепції ймовірностей, один з яких визнає однаковість ймовірностей реалізації всіх досліджуваних подій заданої сукупності *за будь-яких умов*, а другий тільки *за наявності додаткової умови*, а саме за умови виконання принципу індивідуальності.

В першому з вказаних напрямків умова однакової ймовірності вважається (за умовчужанням) атрибутом, даністю подій досліджуваної сукупності, тоді як у другому – ймовірність «прив'язана» до наявного знання (доступної інформації) щодо цих подій. Отже, першу модель слід вважати ідеалізованою але об'єктивною, а другу – суб'єктивною.

Однак на відміну від «первинної» концепції класичної ймовірності вказаний факт не приймається сам собою, а встановлюється на підставі аналізу (логічного, фізичного, хімічного тощо), який спирається на наявні знання щодо (сукупності досліджуваних подій).

Взагалі кажучи, класична інтерпретація поняття ймовірності не визначає це поняття, адже вказує переважно тільки на метод обчислення ймовірності, причому такий, що «спрацьовує» лише в деяких окремих (по-більшості спеціально створених) ситуаціях. Однак, ця інтерпретація зіграла суттєву і конструктивну роль в історії математики, адже започаткувала і належним чином спрямувала пошук відповідей на питання щодо обчислення ймовірності в загальних умовах, а це, врешті-решт, призвело до становлення нової математичної теорії, яка в подальшому отримала назву теорії ймовірностей.

Частотна (статистична) інтерпретація ймовірності

Розглянута класична інтерпретація ймовірності пов'язана з аналізом реалізації окремої події, вказуючи на міру можливості такої реалізації. Однак у практичній діяльності ймовірнісні інструменти застосовуються до подій, які об'єднані у відпо-

відні сукупності, а це актуалізує завдання вивчення властивостей реалізації подій саме як складових (як елементів) таких сукупностей.

Отже, *міру можливої реалізації події можна пов'язати з частотою реалізації цієї події*. Такі події в подальшому стали називати *масовими випадковими подіями*, адже вони, по-перше, відрізняються від подій регулярних, які з'являються закономірно, а по-друге, вони не є унікальними одиничними подіями, міру можливості реалізації яких безглуздо пов'язувати з частотою їх реалізації. На такій основі зародилася і почала розвиватися *інтерпретація ймовірності як відносної частоти реалізації масової випадкової події*, а саме частотна (статистична) інтерпретація ймовірності.

Відповідно до частотної інтерпретації ймовірність визначається через відносну частоту подій безпосередньо або непрямим шляхом, на підставі спостережень за відповідним процесом або на підставі спеціально поставлених експериментів, випробувань [5]. Дж. Венн визначав ймовірність як *граничну величину відносної частоти реалізації події при великій кількості випробувань*. При цьому поняття «велика кількість» ніяк не оговорювалося. Як первинне поняття при визначенні ймовірності пропонувалося брати *відносну частоту*. Зважаючи на те, що відносна частота визначається шляхом практичної реалізації відповідної процедури, вказану ймовірність назвали *емпіричною*.

Зважаючи на те, що чисельно статистична ймовірність визначається відносною частотою, нерідко її звать *частотною ймовірністю*. Саме такий підхід на сьогодні прийнятий в задачах оброблення накопичених масивів даних, де ймовірність ототожнюється з відносною частотою реалізації масової випадкової події *при достатньо тривалих спостереженнях*. Зазначимо, що тривалість вказаних спостережень у визначенні даної інтерпретації ймовірності Мізесом [7], (як і Венном) ніяк не оговорюється, а пропонується до встановлення в процесі дослідження, тобто одночасно із спостереженнями за аналізованою подією, і на підставі цих спостережень. Крім того, цілком зрозуміло, що *для отримання адекватного результату протягом усього процесу спостереження умови щодо реалізації подій мають залишатися незмінними*.

Отже, статистична ймовірність є граничним значенням послідовності відносних частот реалізації сподіваної події серед всіх аналізованих подій, що спостерігаються. Однак існування вказаної границі теоретично залишається не дове-

деним, а це не дозволяє прийняти позиції Мізеса в якості відповідної теорії.

Багаторічною практикою було встановлено, що для багатьох масових явищ (для потоків подій) відносна частота при великій кількості спостережень дійсно має тенденцію до усталеності. Така усталеність частот масових явищ являє *об'єктивну закономірність*, не залежить від волі і бажання людини. Практика також показує, що за умов наявної можливості обчислити ймовірність подій, спираючись на властивість симетрії цих подій, відносна частота є цілком прийнятною оцінкою вказаної ймовірності.

Суттєвою (чи не найголовнішою) проблемою, яка виникає при застосуванні методів, заснованих на частотній інтерпретації ймовірності, є перевірка правильності отриманих результатів, адже питання щодо перевірки істинності (адекватності) отриманого ймовірнісного висновку є цілком природним при дослідженні будь-яких подій, що відбуваються як в живій, так і в неживій природі. В загальному випадку ні процедура верифікації, ні процедура фальсифікації не здатні привести до відповіді на це питання.

Важливою проблемою, пов'язаною з частотною ймовірністю, є концепція організації спостережень. Ця проблема зводиться до необхідності чіткого формулювання умов реалізації всіх подій даної сукупності, причому умов як зовнішніх, так і внутрішніх, пов'язаних, зокрема з послідовністю реалізації подій (з відповідними організаційними Засадами), адже вказані умови нерідко (точніше, часто) суттєво впливають на отриманий результат. Наведене приводить до філософського висновку, що частотна ймовірність визначає не тільки (а часто і не стільки) сам факт реалізації подій досліджуваної сукупності, а скоріше до умов (в тому числі організаційного характеру) процесу реалізації цих подій, тобто до процесу дослідження, до ситуації, яка «супроводжує» дане дослідження.

Тут доречно згадати про *диспозиційну інтерпретацію ймовірності*, яка була запропонована австрійським (і одночасно, англійським) філософом і соціологом К.Р. Поппером (нім. *Karl Raimund Popper* [13]). Відповідно до цієї інтерпретації частотна ймовірність не є властивістю подій у досліджуваній сукупності, а визначає *диспозиційні властивості* деякої (заздалегідь прийнятої і забезпеченої) досліджуваної ситуації.

Відповідно до такої інтерпретації поняття ймовірності можна (як вважав Поппер) говорити і про ймовірності одиничних подій. Диспозиційна

інтерпретація ймовірності на відміну від статистичної відповідає поняттю ймовірності онтологічного статусу, адже сама ймовірність є невід’ємною властивістю тої чи іншої об’єктивної ситуації (диспозиції), яка може проявлятися у різних формах незалежно від нашого знання про неї.

Висновки Поппера не знайшли широкої підтримки наукової спільноти (переважно в тому, що стосується можливості застосування поняття частотної ймовірності для оцінки можливості реалізації одиничних подій), хоча, звичайно, мають враховуватися в процесі підготовки досліджень, результати яких передбачається обробляти на підставі концепції частотної ймовірності.

Отже, частотну ймовірність слід розглядати як математичний артефакт, який характеризує кількісні закономірності (відношення) двох сукупностей подій і не може застосовуватися в ситуаціях, коли йдеться про неповторювані, рідко повторювані або одиничні події.

Виконати на практиці умови, які б надавали впевненості в існуванні граничного значення відносної частоти реалізації подій, що відповідає частотній ймовірності, зазвичай не вдається. Зокрема, в процесі спостережень за подіями практично неможливо забезпечити однаковість умов, в яких здійснюються ці спостереження. Це завжди дає визначені підстави сумніватися, що отримане значення відносної частоти реалізації подій адекватно відображатимуть ймовірність реалізації аналізованої події при спрямуванні числа спостережень до нескінченності навіть за відносної стабілізації її величини в рамках здійснених спостережень.

Існування і практична необхідність дослідження подій, за якими можна спостерігати виключно в умовах, що постійно змінюються, і призводить до поняття *гіпервипадкових* подій [8; 9; 14]. Характерна особливість таких подій полягає в неможливості застосування описаного поняття частотної ймовірності, адже частота реалізації події за вказаних умов не матиме границі при будь-якому збільшенні спостережуваного числа реалізації події. В той же час, на сьогодні відмічено чимало прикладних задач, вирішення яких пов’язане з дослідженням саме гіпервипадкових подій, що дає підстави вважати перспективним розвиток цього напрямку теорії ймовірності в її частотній інтерпретації.

Аксиоматична інтерпретація ймовірності

Аксиоматичний підхід до побудови теорії ймовірностей вважається поворотною точкою в розвитку цього напрямку математичної науки. Адже

введення аксіоматики, як основи всіх подальших висновків та положень, перетворює числення ймовірностей на строгу математичну дисципліну, вільну від неявних припущень і логічних протиріч. Однак така бездоганність була досягнута за рахунок *повної відмови від будь-яких змістовних уявлень щодо самого поняття* ймовірності. В рамках аксіоматичної теорії ймовірності, як поняття, визначена формальним чином, як деяка відповідним чином задана функція, як математичний артефакт, що задовольняє встановленій системі аксіом.

При цьому навіть не ставиться питання щодо ймовірності реальної події і не розглядається, як саме цю ймовірність обчислити або виміряти у сфері практичної діяльності. Аксиоматична інтерпретація (в даному випадку цілком можна застосувати і слово «теорія») ймовірностей пов’язана з ідеалізованою математичною реальністю. Серед існуючих на сьогодні аксіоматичних теорій ймовірностей, найбільш загальною і прозорою вважається теорія, запропонована А.М. Колмогоровим у 1929 році.

В рамках аксіоматики Колмогорова [10] ймовірність задається як деяка числова функція $P(A)$ події A на множині всіх подій, які можуть реалізуватися в серії відповідних спостережень. При цьому приймається, що вказана множина містить не тільки всі події, але й всі можливі комбінації цих подій, а введена функція задовольняє умовам $0 < P(A) < 1$, причому $P(A) = 1$, якщо A – достовірна подія.

Крім того, приймається істинність співвідношення $P(A \vee B) = P(A) + P(B)$, що унеможливує одночасну реалізацію подій A і B . Важливим в наведеній аксіоматиці є те, що вона *розглядається на множині подій, міра якої дорівнює одиниці*.

Ймовірність події, але не імперативний факт її здійснення, означає по суті дефіцит наших знань щодо причин майбутньої події, тобто фіксує якусь міру незнань про її сутність.

Не дарма А. Давід Ноель (фр. David Neel, Alexandra [15]) точно зауважила: «Випадковість – зручне слово для визначення невідомих для нас причин».

Це може означати, що поняття «ймовірність», яке параметрується сучасним спостерігачем, може в майбутньому стати по відношенню до події для майбутнього спостерігача детермінованою, коли він буде озброєний більшою кількістю та якістю знань. Інакше кажучи, поняття «ймовірність» є принципово тимчасовим в час його використання та означає, врешті решт, міру повноти

наших знань щодо майбутньої події, факту, параметра і т.д.

Невпинний розвиток людства, що означає, в першу чергу, розвиток природознавства, тобто сукупності наук, які вивчають і становлять на потребу людей отримані результати про будову, властивості й перетворення неживої та живої природи, переведе багато (а може і більшість) натепер ймовірних явищ у розряд детермінованих.

Але навряд чи зменшиться кількість перших.

І хоча ця «математика» «лежить» в короткому арифметичному інтервалі $/1...0/$, вона означає словами поета головне: «бути чи не бути» – Шекспір дуже точно визначив роль теорії ймовірності в нашому житті.

Висновки. Відповідно до класичної інтерпретації, ймовірність є відношенням числа вибраних реалізацій деякого експерименту до числа всіх його можливих реалізацій. При цьому всі означені реалізації вважаються однаково можливими.

Обмеженість практичного застосування і критика недоліків такого визначення призвела до появи поняття *частотної ймовірності* (на основі якої виникла математична статистика), а в подальшому до *аксіоматичної теорії* ймовірностей. На сьогодні теорія ймовірностей і математична статистика добре і всебічно розроблені, причому безальтернативним позитивним елементом цих інструментів слід визнати наявну можливість оцінити ступінь довіри до отриманих результатів на підставі обчислення відповідних довірчих інтервалів.

Однак при цьому слід зробити декілька застережень.

Перше. Застосування інструментів теорії ймовірностей і математичної статистики стає проблематичним (а то й практично неможливим) при недостатньому об'ємі первинних даних.

Друге. Застосування теорії ймовірностей часто пов'язане з необхідністю робити недостатньо обґрунтовані (або взагалі не обґрунтовані) спрощення моделі аналізованого об'єкта (процесу), що суттєво зменшує цінність отриманих результатів, ставить під сумнів їх адекватність, здатне привести до несподіваних і небажаних наслідків. В багатьох випадках (наприклад й процесі обчислення-показників безвідмовності АПК) безпосереднє застосування алгоритмів теорії ймовірностей примушує нехтувати структурними особливостями досліджуваного АПК, а це призводить до того, що принципово різні за структурою об'єкти мають бути подані однаковими ймовірнісними моделями. Наведене здатне призвести

(і часто призводить) до появи суттєвих методичних похибок в результатах обчислення показників надійності і безпеки.

Третє. Обчислення показників надійності і безпеки АПК на стадії проектування спирається на експериментальні дані щодо інтенсивності відмови їх окремих елементів. Такі дані обробляються відповідними статистичними методами, а отже суттєво залежать від умов реалізації експериментів, які зазвичай відрізняються від умов, в яких вказані елементи перебувають на стадії експлуатації відповідного АПК. Наведене, а також методологія теорії масового обслуговування (в основі якої присутня чимала частка статистичної ймовірності) неминуче приводять до того, що прогнозовані на стадії проектування АПК показники надійності як правило не підтверджуються, потребують уточнення під час його експлуатації. Не врахування наведених факторів нерідко призводить до несподіванок і неприємностей в процесі експлуатації АПК, зокрема, і до аварійних ситуацій.

Четверте. Поширена на сьогодні серед інженерів практика за будь-яких умов виключати з розгляду (відкидати) результати окремих спостережень (експериментів), що суттєво відрізняються від результатів основної маси спостережень, реалізованих в рамках даного дослідження, не може бути визнана бездоганною. До такої процедури «виключення» слід відноситися достатньо обережно, застосовуючи її лише після прискіпливого аналізу відповідної ситуації, після встановлення причин вказаного відрізнення.

Застосовуючи інструменти теорії ймовірностей і математичної статистики, слід чітко усвідомлювати, що вони спрацьовуватимуть виключно за умови достатності первинної інформації щодо аналізованої події, та забезпеченні додаткових умов щодо реалізації відповідних досліджень. Якщо такої інформації замало, або досліджувані події не є масовими, або не забезпечена однаковість умов реалізації вказаних подій в процесі спостережень, виникають методичні труднощі із розрахунками ймовірнісних показників та відповідних довірчих, інтервалів або величина цих інтервалів – виявляється – занадто великою, або взагалі, отримані результати не відповідатимуть реальності.

За таких умов, природно, слід шукати інші методи та алгоритми вирішення поставлених завдань, серед яких можна відокремити наступні:

– застосування концепції гіпервипадкових подій для обчислення показників надійності АПК

в процесі їх експлуатації, що слід розглядати як можливу альтернативу статистичної імовірності, однак потребує накопичення відповідних базових даних, на підставі яких вказану концепцію можна було б в повній мірі впровадити в інженерну практику;

– розроблення інструментів, спрямованих на аналіз реалізації подій поодиноких, неповторюваних, таких, що рідко проявляються. Саме до таких подій, зокрема, слід віднести перехід АПК до аварійного стану, а отже встановлення умов і факторів, що здатні привести АПК до такого стану стає задачею суттєвої значимості коли йдеться про енергетичні об'єкти, космічні апарати (особливо-пілотовані), військову техніку тощо;

– спрямування зусиль на адекватне обчислення безвідмовності АПК у випадку, коли не

можна прийняти незалежність відмов окремих складових, адже проявлення помилки в програмному забезпеченні за визначених умов цілком може інтерпретуватися як одночасна відмова декількох складових даного АПК, тобто як взаємний зв'язок (взаємна залежність) цих відмов;

– розроблення методів обчислення показників, безвідмовності і безпеки структурно-складних АПК.

Можливим напрямком вирішення вказаних задач на сьогодні вважається взаємне проникнення, зливання концепцій ймовірності і логіки, а також активно розроблюваний і впроваджуваний, зокрема, в інженерну практику, напрямок математики – теорія нечітких множин.

Список літератури:

1. Апаратно-програмний комплекс PromHMI в системі IEC61850. URL: <https://rza-promav.com/news/aparatno-programnyj-kompleks-promhmi-v-syst> (дата звернення: 19.03.2023).
2. Забезпечення функціональної безпеки критичних інформаційно-керуючих систем : монографія / за ред. В.С. Харченка, С.В. Яковлева. Харків : Константа, 2019. 272 с.
3. John A. Rice. *Mathematical statistics and data analysis*: 2nd ed. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California, 1995. 672 p.
4. Bronshtein I. *Probability Theory and Mathematical Statistics* / I. Bronshtein & other./ *Handbook of Mathematics* / Springer Berlin, Heidelberg, 2013. P. 743–794.
5. Інтерпретації ймовірності. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтерпретації_ймовірності (дата звернення: 22.06.2022).
6. John Venn. English logician and philosopher. URL: <https://www.britannica.com/biography/John-Venn> (дата звернення: 12.10.2023).
7. Ріхард фон Мізес. URL: https://www.wikiwand.com/uk/Ріхард_фон_Мізес (дата звернення: 12.10.2023).
8. Gorban I.I. *Theory of hyper-random phenomena: physical and mathematical basis*. Naukova dumka. 2011. 317 p.
9. Горбань И.И. Феномен статистичної стійкості і моделі його опису. *Математичні машини і системи*. Інститут математичних машин і систем НАН України. 2016. № 3. С. 110–118.
10. Kolmogorov A. N. *Foundations of the Theory of Probability*. Martino Fine Books, 2013. 96 p.
11. Jacob (Jacques) Bernoulli. URL: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Bernoulli_Jacob (дата звернення: 12.10.2023).
12. Pierre-Simon, marquis de Laplace. URL: <https://www.britannica.com/biography/Pierre-Simon-marquis-de-Laplace> (дата звернення: 18.02.2024).
13. Карл Поппер. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Карл_Поппер (дата звернення: 18.02.2024).
14. Зінковський Ю.Ф., Уривський Л.О. Гіпервипадкові властивості функціональних характеристик радіоелектронної техніки. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. 2024. Вип. 95. С. 31–38.
15. Alexandra David-Néel. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Alexandra_David-N%C3%A9el (дата звернення: 11.03.2024).

Zinkovsky Yu.F., Uryvsky L.O. RELIABILITY ASSESSMENT OF MODERN HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES IN THE CATEGORIES OF RANDOMNESS AND PROBABILITY

The hardware and software complex (HSC) created by engineers must satisfy the relevant needs of a person, because that is exactly what it is created for. Therefore, the specified object should be considered endowed with the appropriate consumer properties, which should show stability during its operation, which is determined by its reliability indicators, which for the HSC of the specified purpose are usually supplemented by the appropriate safety indicators. An analysis of the essence of the concept of probability as a tool for overcoming the incompleteness and inaccuracy of information regarding the events under study was carried out. Different concepts (interpretations) of probability are considered from the point of view of their theoretical status and

practical application in the tasks of calculating reliability and safety indicators of hardware and software complexes. The classical, statistical and axiomatic concepts of probability are analyzed, the features of each of these concepts, conditions and caveats regarding their application in engineering practice are revealed. The reasons for the inconsistency of the reliability indicators, which are calculated at the device design stage based on reference data on the intensity of individual component failures, to the indicators observed during the operation of the specified devices are revealed. The emphasis is on the need to treat the results of observations with care in those cases when among the data obtained there are those that differ significantly from the majority. It is noted that the limitations associated with statistical probability can be leveled to a greater or lesser extent by applying the concept of hyperrandom events, but the wide implementation of this concept is hindered by the lack of an appropriate experimental database. Based on the analysis, urgent tasks related to increasing the efficiency of calculating reliability and security indicators of hardware and software complexes are formulated.

Key words: *probability, mathematical statistics, probability theory, reliability indicators, engineering tools, hardware and software complex.*