ЙМОВІРНІСТЬ В ОЦІНКАХ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Г. О. Мірських, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: mirskih@i.ua

В. В. Васюк, кандидат технічних наук, старший викладач

E-mail: vasyuk@nubip.edu.ua

Т. С. Книжка, кандидат технічних наук, старший викладач

E-mail: knizhkatatyana@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Нині електроенергетичні комплекси з повним правом відносять до категорії складних систем, які стають невід'ємними структурними елементами навколишнього середовища. Будь-який створений інженерами електроенергетичний комплекс має задовольняти відповідні потреби людини, адже саме для цього він і створюється. З цієї точки зору електроенергетичний комплекс слід вважати наділеним відповідними споживчими властивостями, які мають проявляти усталеність в період його експлуатації, що визначається показниками надійності, які для електроенергетичного комплексу обов'язково доповнюються відповідними показниками безпеки. Саме такі показники дозволяють зробити висновок щодо можливості проявлення електроенергетичного комплексу 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 електроенергетичного комплексу.

Проведено аналіз сутності поняття ймовірності як інструменту подолання неповноти і неточності інформації щодо досліджуваних подій, при цьому і різних концепцій (інтерпретацій) ймовірності з точки зору їх теоретичного статусу і практичного застосування в задачах обчислення показників надійності та безпеки електроенергетичних 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, показникам, які спостерігаються в процесі експлуатації вказаних пристроїв, а також 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 електроенергетичних комплексів.

Ключові слова: *ймовірність, математична статистика, теорія ймовірностей, показники надійності, інструменти інженерії*

Актуальність. Первинне обчислення показників надійності і безпеки електроенергетичного комплексу (ЕЕК) здійснюється на стадії його проектування. У подальшому в процесі експлуатації реалізується спостереження за поточним технічним станом (поточним рівнем показників) ЕЕК, на підставі якого робляться висновки щодо необхідності реалізації відповідних процедур підтримання показників надійності та безпеки на належному рівні. На підставі результатів спостереження за поточним технічним станом ЕЕК здійснюється уточнення тих чи інших показників надійності та безпеки розрахунковими методами. Як методологічну основу підготовки даних як для обчислення показників надійності і безпеки, так і для оброблення інформації щодо поточного технічного стану ЕЕК, нині приймається математична статистика, а в процесі відповідних обчислень застосовуються алгоритми теорії ймовірностей. При цьому забувають про сутність формування статистичних даних, про обмеження та застереження, які при цьому існують і які, власне, дозволяють застосувати алгоритми теорії ймовірностей. Все це здатне призвести до хибних результатів, а отже й до прийняття неадекватних рішень щодо технічного стану ЕЕК, можливості його подальшої безпечної експлуатації тощо. У той же час, нині створені й активно розвиваються методи обчислення показників надійності і безпеки ЕЕК, якими в більшій або меншій мірі враховані вказані застереження й обмеження, а отже сприяють підвищенню адекватності обчислень, дозволяють перейти від обслуговування ЕЕК в процесі експлуатації не за регламентом, а за поточним технічним станом. Ці методи спираються на результат взаємопроникнення концепцій ймовірності і логіки. Наведене актуалізує питання аналізу означених концепцій, розкриття їх спільних і розрізнених складових, факторів, що призвели до їх взаємного проникнення. Доведення результатів такого

аналізу до інженерної спільноти набуває суттєвої значущості, адже сприяє впровадженню відповідних концепцій в практику проектування та експлуатації ЕЕК, а як результат «зворотного зв'язку» актуалізує дослідження в напрямку подальшого розвинення вказаних концепцій.

Представлена стаття є першою з двох статей, присвячених такому аналізу. При цьому на підставі розкриття змістовної сутності кожної з означених вище концепцій формулюватимуться умови й обмеження її застосування в практиці обчислення показників надійності та безпеки ЕЕК, а також визначатимуться задачі, вирішення яких здатне підвищити ефективність наявних інструментів в даній області.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ймовірнісна концепція в задачах обчислення показників надійності (як і в процесі підготовки відповідних первинних даних) нині набула найбільшого поширення серед інженерної спільноти [1,2]. 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. Адже 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.

Мета дослідження - 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 ЕЕК, на розуміння шляхів розвинення вказаних інструментів, у т.ч. на підставі інших концепцій в тій чи іншій мірі пов'язаних з категорією ймовірності.

Матеріали і методи дослідження. Наведене 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 в електроенергетиці.

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

Результати досліджень та їх обговорення. 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. Протягом усього періоду існування інтерпретування поняття ймовірності неодноразово піддавалося варіативності, причому кожна з таких інтерпретацій завжди відповідала визначеним умовам і цілям щодо практичного застосування або теоретичного обґрунтування ймовірнісних інструментів. Тим не менш, наукові дискусії навколо поняття ймовірності не втихають і досі, що може свідчити про можливість (а точніше, про необхідність) появи нових інтерпретацій цього поняття, а з ними і нових областей застосування цієї області знань.

У двадцятому сторіччі поняття ймовірності й засновані на цьому понятті інструменти 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. Адже занурення в змістовну сутність поняття ймовірності (як і інших понять, пов'язаних з категорією інформації) неминуче призводить до філософських роздумів і висновків. Поширення застосування ймовірнісних інструментів як основи багатьох алгоритмів побудови нових все більш удосконалених ЕЕК призвело до необхідності осмислення самого поняття ймовірності, його внутрішнього змісту з боку науковців в галузі логіки і філософії,

які традиційно пов'язані з вивченням сутності наукових теорій, шляхів їх формування і розвитку.

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. Існування математичної теорії ймовірностей, на жаль, не дає (як буде показано далі) підстав для формування єдиного погляду відносно змісту ймовірнісних суджень та висновків практично скрізь, де такі судження та висновки застосовуються.

Класична (симетрична) інтерпретація ймовірності. Класична інтерпретація ймовірності була історично першою спробою оцінити результати реалізації подій [1, 2], причому подій, які характеризується цілком конкретними властивостями. Вказані властивості полягають в тому, що різні реалізації відповідної події мають бути *рівноможливими*. Так, у прикладі з киданням гральної кістки (який став класичним і з якого абсолютно необґрунтовано зазвичай починається знайомством з теорією ймовірностей у вищій школі) події, пов'язані з випадінням будь-якої грані цієї кістки, однаково можливі, а подія, що сприяє випадінню однієї з вказаних граней, звичайно, одна. Виходячи з цього, легко підрахувати ймовірність «появи» будь-якої грані кістки без необхідності звертатися до експерименту. Ця ймовірність становитиме $1/6$. У 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 Я. Бернуллі в роботі «Мистецтво пропозицій». Суттєву увагу в своїй науковій діяльності поняттю ймовірності приділяв і П. Лаплас, 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 однаковоможливими (симетричними, рівноможливими)*. У назві своєї роботи Лаплас використав термін «теорія ймовірностей», однак до побудови теорії ймовірностей на той час було ще далеко.

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 звуть *апріорною*).

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

Перше. Однакову можливість реалізації досліджуваних подій надто 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 реалізації цих подій, тоді як апріорне введення поняття рівноймовірності, в свою чергу, передбачає попереднє визначення ймовірності.

З метою подолання вказаних труднощів класичної інтерпретації ймовірностей було запропоновано сприймати як вірні ті судження і висновки, для виключення з

розгляду (відкидання) яких не має достатніх підстав, що було сформульовано як *принцип індиферентності*. 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.

Детальний аналіз принципу індиферентності (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 індиферентності. В першому з вказаних напрямків умова однакової ймовірності вважається (за умовчужанням) атрибутом 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. Це розрізнення є суттєвим, а отже не врахування його може призвести до хибних результатів. Фактично принцип індиферентності затверджує симетричні наслідки реалізації досліджуваних подій. 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. Незважаючи на зовнішнє відрізнєння двох розглянутих моделей класичної інтерпретації ймовірності, обидві вони спираються на загальну основу – симетричність (однакову ймовірність) подій досліджуваної сукупності. Тільки в першій моделі симетрія вважається атрибутом самих подій, а в другому – підтверджується наявним (на даний момент) знанням щодо цих подій. Останнє надає всі підстави вважати таку ймовірність суб'єктивною.

Взагалі кажучи, класична інтерпретація поняття ймовірності не визначає (в повному сенсі цього слова) це поняття, адже вказує переважно (якщо не виключено)

тільки на метод обчислення ймовірності, причому такий, що «спрацьовує» лише в деяких окремих (по-більшості спеціально створених) ситуаціях. Крім того, при цій інтерпретації ймовірності сукупність аналізованих подій фактично не розглядається, а кожна подія розглядається окремо, адже всі події досліджуваної сукупності з огляду на їх реалізацію є однаковими. 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 відповідні сукупності, а це актуалізує завдання вивчення властивостей реалізації подій саме як складових (як елементів) таких сукупностей.

Очевидно (принаймні не має суттєвих підстав заперечувати), що міра можливої реалізації деякої події 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. 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, 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 концепція були вперше проведені англійським вченим Дж. Венном 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 слідство, неможливе застосування класичної інтерпретації ймовірності.

Відповідно до частотної інтерпретації імовірність визначається через відносну частоту подій безпосередньо або непрямым шляхом, на підставі спостережень за відповідним процесом або на підставі спеціально поставлених експериментів, випробувань [1, 2]. Дж.Венн визначав імовірність 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*.

Подальший розвиток частотна інтерпретація ймовірності отримала в 20-х роках минулого століття в роботах Р. Мізеса, 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 слідство, отримала назву *статистичної ймовірності*. Зважаючи на те, що чисельно статистична ймовірність визначається відносною частотою, нерідко її звуть *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 (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 доведеним, а це не дозволяє прийняти побудови 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 умови наявної можливості обчислити ймовірність подій, спираючись на властивість симетрії цих подій, відносна частота є цілком прийнятною оцінкою вказаної ймовірності.

У той же час, у загальному випадку, коли точне значення ймовірності на підставі властивості симетрії подій обчислити не вдається, робиться *індуктивне* припущення, що відносна частота таких масових, повторювальних подій надто близька до деякого числа, яке і зветься ймовірністю. Отже індуктивні висновки є необхідною методологічною (концептуальною) підтримкою частотної інтерпретації ймовірностей, але, зважаючи на те, що будь-які індуктивні висновки є виходом за границі того, що на даний момент відомо, це неминуче призводить до труднощів теоретичного характеру.

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. У загальному випадку ні процедура верифікації, ні процедура фальсифікації не здатні привести до відповіді на це питання.

Якщо розглядати кінцеві сукупності подій, то відповідний ймовірнісний висновок безпосередньо говорив би про арифметичне відношення кількості елементів таких сукупностей. При цьому ймовірнісний висновок можна було б перевірити простим пред'явленням всіх елементів обох сукупностей з подальшим простим підрахунком. Якщо ж розглядати нескінченні сукупності подій, або нескінченну кількість кінцевих сукупностей, то жодне кінцеве число спостережень не здатне остаточно підтвердити або остаточно відкинути зроблений ймовірнісний висновок. Адже не можна (принаймні, теоретично) виключити такого факту, що дана кінцева послідовність спостережень є визначеною флуктуацією, значним відхиленням відносної частоти в даній послідовності від відносної частоти у всій нескінченній сукупності аналізованих подій.

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 інтерпретація ймовірності*, яка була запропонована австрійським (і одночасно, англійським) філософом і соціологом К.

Поппером. Відповідно до цієї інтерпретації частотна ймовірність не є властивістю подій у досліджуваній сукупності, а визначає *диспозиційні властивості* деякої (заздалегідь прийнятої і забезпеченої) досліджуваної ситуації. Сутність диспозиційної інтерпретації поняття «ймовірність» К. Поппер сформулював так: «Будь-яка досліджувана ситуація може, якщо ми дуже часто повторюємо експеримент, викликати серію з частотами, які *залежать від даної конкретної ситуації*. Ці частоти можна назвати ймовірностями. Але якщо ймовірності виявляються залежними від досліджуваної ситуації, то їх можна трактувати і як *властивість цієї ситуації*. Вони характеризують диспозицію саме цієї ситуації, її тенденцію викликати визначені характерні частоти, коли даний експеримент повторюється. Така інтерпретація відрізняється від частотної тим, що вона трактує ймовірність скоріше як властивість фізичної ситуації, ніж як характеристику подій». Відповідно до такої інтерпретації поняття ймовірності, можна (як вважав Поппер) говорити і про ймовірності одиничних подій. Диспозиційна інтерпретація ймовірності на відміну від статистичної надає 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.

Таким чином, 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, призводить до поняття *гіпервипадкових* подій [3]. 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. У той же час, нині існує 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.

Аксіоматична інтерпретація ймовірності. Аксіоматичний 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 ймовірність, як поняття, визначена формальним чином, як деяка відповідним чином задана функція (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. Аксіоматична інтерпретація (що цілком відповідає категорії «теорія») ймовірностей пов'язана з ідеалізованою математичною реальністю. Серед існуючих на сьогодні аксіоматичних теорій ймовірностей найбільш загальною і прозорою вважається теорія, запропонована

А. Колмогоровим у 1929 році, яка розглядається як окремий напрямок теорії міри [4], що спирається на поняття і методи теорії множин. У рамках цієї аксіоматичної 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). Мотиви побудови аксіоматичної теорії ймовірностей та своє особисте відношення до неї А. Колмогоров подав словами: «Теорія ймовірностей як математична дисципліна може й повинна бути аксіоматизована повністю в тому самому сенсі, що й геометрія та алгебра. Це означає, що після того як надані назви аналізованим об'єктам і їх основним відношенням, а також введені аксіоми, яким ці відношення мають задовольняти, все подальше викладання теорії ймовірностей має бути засноване виключно на введених аксіомах, не спиратися на звичайне конкретне значення вказаних об'єктів і їх відношень».

В рамках аксіоматики Колмогорова 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 $0 \leq P(A) \leq 1$, причому $P(A) = 1$, якщо A — достовірна подія. Крім того, приймається істинність співвідношення $P(A \vee B) = P(A) + P(B)$, що унеможливорює одночасну реалізацію подій A і B . Важливим в наведеній аксіоматиці є те, що вона *розглядається на множині подій, міра якої дорівнює одиниці*.

Як видно, ця інтерпретація ймовірності описує формальні властивості цього поняття, побудована виключно на математичних артефактах, оперує такими артефактами і, спираючись на них призводить до тих чи інших висновків, ніяк не визначаючи природу чи особливості тих явищ, до яких застосовується й які описує. У цій інтерпретації ймовірність є функцією, яка приймає значення в інтервалі від нуля до одиниці, і задовольняє відповідним умовам, як відповідним умовам мають задовольняти і самі події. Всі ці умови і властивості введені для досягнення відповідної логічної структури теорії, її внутрішньої незаперечності, спрямовані на

«обслуговування» теорії. Звичайно, що при цьому на практиці і події, і вказана функція можуть не відповідати (і часто не відповідають) встановленим для них умовам, хоча при визначених припущеннях, щодо властивостей первинних даних класична і статистична концепції ймовірності відображаються артефактами теорії ймовірностей, і навпаки, абстрактне поняття ймовірностей є відображенням визначених властивостей частот, які спостерігаються в рамках відповідних спостережень, однак повністю до цих частот не зводяться. У той же час, математичний апарат теорії ймовірностей (в її аксіоматичній інтерпретації) широко і плідно застосовується в практичній діяльності фахівців у різних областях знань.

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. Нині 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. Незважаючи на вказані вище визначені труднощі щодо обґрунтування відповідних алгоритмів й інтерпретації отриманих результатів, обидва вказані інструменти широко застосовуються в процесах реалізації життєвого циклу ЕЕК, зокрема з метою обчислення показників їх надійності та безпеки на стадії проектування, підтримання на стадії експлуатації належного рівня цих показників, що зазвичай пов'язано з необхідністю оброблення результатів спостережень за поточним технічним станом ЕЕК. 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 погано обґрунтовані (або взагалі не обґрунтовані) спрощення моделі аналізованого ЕЕК, що зменшує цінність отриманих результатів, ставить під сумнів їх адекватність, здатне призвести до несподіваних і небажаних наслідків. У процесі обчислення показників безвідмовності ЕЕК безпосереднє застосування алгоритмів теорії ймовірностей примушує нехтувати структурними особливостями досліджуваного ЕЕК, а це призводить до того, що принципово різні за структурою комплекси мають бути подані однаковими ймовірнісними моделями. Наведене здатне призвести (і часто призводить) до появи суттєвих методичних обчислювальних похибок.

Третє. Обчислення показників надійності і безпеки ЕЕК 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 ЕЕК. Наведене, а також методологія теорії масового обслуговування (в основі якої присутня чимала частка статистичної ймовірності) неминуче приводять до того, що прогнозовані на стадії проектування ЕЕК показники надійності, як правило, не підтверджуються, потребують уточнення під час його експлуатації. Не врахування наведених факторів часто призводить до несподіванок і неприємностей в процесі експлуатації ЕЕК, у т. ч. і до аварійних ситуацій.

Четверте. Поширена нині серед інженерів практика за будь-яких умов виключати з розгляду результати окремих спостережень, 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 відрізнєння.

Висновки і перспективи. 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 виокремити:

- застосування концепції гіпервипадкових подій для обчислення показників надійності ЕЕК у 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 ЕЕК до аварійного стану, а отже встановлення умов і факторів, що здатні привести ЕЕК до такого стану стає задачею суттєвої значимості;

- спрямування зусиль на адекватне обчислення безвідмовності ЕЕК 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 ЕЕК, тобто як взаємний зв'язок (взаємна залежність) цих відмов.

Як можливим напрямком вирішення вказаних задач на сьогодні вважається взаємне проникнення, зливання концепцій ймовірності і логіки, про що йтиметься у другій частині представлених матеріалів. Крім того, вирішенню вказаних задач сприяє на сьогодні активно розроблюваний і впроваджуваний (в тому числі) в інженерну практику напрямок математики – теорія нечітких множин, що має становити предмет окремого дослідження.

Список використаних джерел

1. Халафян А. А. Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных. / А.А. Халафян, В.Б. Боровиков, Г.В. Калайдина / М.: ЛКИ. 2017. 320 с.
2. Кремер М. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИДАНА, 2002. 543 с.
3. Горбань И. И. Феномен статистической устойчивости и модели его описания. / Математические машины и системы. Институт математических машин и систем НАН Украины. 2016. №3. С. 110-118.
4. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей. Физико - математическое наследие. М.: Либроком. 2013. 120 с.

References

1. Khalafyan, A. A., Borovikov, V. B., Kalaydina, G. V. (2017). Teoriya veroyatnostey, matematicheskaya statistika i analiz dannykh [Probability theory, mathematical statistics and data analysis]. Moskow: LKI, 320.
2. Kremer, M. S. (2002). Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moskow: YUNITIDANA, 543.
3. Gorban, I. I. (2016). Fenomen statisticheskoy ustoychivosti i modeli yego opisaniya. [The phenomenon of statistical stability and models for its description.] Matematicheskiye mashiny i sistemy. Institut matematicheskikh mashin i sistem NAN Ukrainy, 3, 110-118.
4. Kolmogorov, A. N. (2013). Osnovnyye ponyatiya teorii veroyatnostey [Basic concepts of probability theory]. Fiziko - matematicheskoye naslediyе. Moskow: Librokom, 120.

ВЕРОЯТНОСТЬ В ОЦЕНКАХ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Г. А. Мирских, В. В. Васюк, Т. С. Книжка

Аннотация. В настоящее время электроэнергетические комплексы с полным правом относят к категории сложных систем, которые становятся неотъемлемыми структурными элементами окружающей среды. Любой созданный инженерами электроэнергетический комплекс имеет удовлетворять соответствующие потребности человека, ведь именно для этого он и создается. С этой точки зрения электроэнергетический комплекс следует считать наделенным соответствующими потребительскими свойствами, которые должны проявлять устойчивость в период его эксплуатации, определяется показателями надежности, которые для электроэнергетического комплекса обязательно дополняются соответствующими показателями безопасности. Именно такие показатели позволяют сделать вывод о возможности проявления электроэнергетического комплекса в процессе эксплуатации своих потребительских свойств в полном объеме и без угрозы для людей и для окружающей среды, то есть позволяют принять решение о возможности и целесообразности эксплуатации данного электроэнергетического комплекса.

Проведен анализ сущности понятия вероятности как инструмента преодоления неполноты и неточности информации о исследуемых событиях, при этом и различных концепций (интерпретаций) вероятности с точки зрения их теоретического статуса и практического применения в задачах расчета показателей надежности и безопасности электроэнергетических комплексов. Проанализированы классическая, статистическая и аксиоматическое концепции вероятности, раскрыты особенности каждой из этих концепций, условия и оговорки относительно их применения в инженерной практике. Раскрываются причины несоответствия показателей надежности, рассчитываемых на стадии проектирования устройств на основании справочных данных по интенсивности отказов отдельных компонентов, показателям, которые наблюдаются в процессе эксплуатации указанных устройств, а также необходимость осторожно относиться к обработке результатов наблюдений в тех случаях, когда среди полученных данных является такие, которые существенно отличаются от большинства. Отмечено, что ограничения, связанные со статистической вероятностью можно в большей или меньшей степени нивелировать применением концепции гиперслучайных событий, однако широкое внедрение этой концепции сдерживается отсутствием соответствующей экспериментальной базы данных. На основании проведенного анализа сформулированы насущные задачи, связанные с повышением эффективности вычисления показателей надежности и безопасности электроэнергетических комплексов.

Ключевые слова: *вероятность, математическая статистика, теория вероятностей, показатели надежности, инструменты инженерии*

PROBABILITY IN RELIABILITY ASSESSMENTS OF ELECTRIC POWER COMPLEXES

G. Mirskikh, V. Vasyuk, T. Knizhka

Abstract. *Electric power complexes today rightfully belong to the category of complex systems that become integral structural elements of the environment. Any electric power complex created by engineers has to satisfy the corresponding needs of a person, because this is what it is created for. From this point of view, the electric power complex should be considered endowed with appropriate consumer properties, which must show stability during the period of its operation, determined by the reliability indicators, which for the electric power complex must be supplemented by the corresponding safety indicators. It is these indicators that make it possible to conclude about the possibility of manifestation of the electric power complex during the operation of its consumer properties in full and without a threat to people and to the environment, that is, they make it possible to make a decision about the possibility and feasibility of operating this electric power complex.*

The analysis of the essence of the concept of probability as a tool to overcome the incompleteness and inaccuracy of information about the events under study, along with various concepts (interpretations) of probability from the point of view of their theoretical status and practical application in the problems of calculating the reliability and safety indicators of electric power complexes. Analyzed the classical, statistical and axiomatic

concepts of probability, revealed the features of each of these concepts, conditions and reservations regarding their application in engineering practice. Reveals the reasons for the discrepancy between the reliability indicators, calculated at the design stage of devices on the basis of reference data on the failure rate of individual components, indicators that are observed during the operation of these devices, as well as the need to be careful with the processing of observation results in cases where such that differ significantly from the majority. It is noted that the limitations associated with statistical probability can be to a greater or lesser extent leveled by using the concept of hyper-random events, but the widespread implementation of this concept is constrained by the lack of an appropriate experimental database. On the basis of the analysis carried out, urgent tasks are formulated related to increasing the efficiency of calculating the reliability and safety indicators of electric power complexes.

Key words: *probability, mathematical statistics, probability theory, reliability indicators, engineering tools*