ВЗАЄМОПРОНИКНЕННЯ ЛОГІКИ І ЙМОВІРНОСТІ 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. Представлена робота присвячена розгляду існуючих концепцій логіки та спрямована на аналіз концепцій імовірності і логіки, як роздільно, так і у вигляді відповідних інтегрованих структур, з огляду їх застосування в задачах оцінювання показників надійності і безпеки електроенергетичних комплексів. Логіка, як науковий напрям, давно вийшла за рамки філософського дискурсу і нині розглядається як ефективний інструмент практичної діяльності в різних областях науки й інженерії. При цьому знайшли своє місце як самостійні напрямки розвитку логіки, так і структури, в яких ця концепція інтегрується з іншими концепціями, або стає основою для формування нових ефективних інструментів. Вочевидь, логіка не є емпіричною наукою. Однак стимули свого розвитку вона черпає з практики реального мислення. Зміни у мисленні врешті-решт призводять до зміни самої логіки. Останнє може в деякому сенсі слугувати обґрунтуванням розгалуження логіки, якому вона піддавалася протягом усього періоду свого існування та подальшого розвитку.

Проведено аналіз змістовної сутності структур, побудованих як результат «злиття» понять імовірності і логіки з точки зору їх теоретичного статусу і практичного застосування. Розкрита причина варіативності інтерпретацій понять імовірності і логіки, їх філософський зміст, об'єктивна закономірність взаємопроникнення концепції ймовірнісних і логічних висновків, формування на цій основі теорії нечітких множин і нових інструментів інженерії, які нині дедалі більше стають у нагоді в процесі реалізації життєвого циклу структурно складних технічних комплексів тривалого використання, в дослідженнях кліматичних змін і екології оточуючого людину середовища, у встановленні поточного стану і прогнозуванні напрямків подальшого розвитку соціальних систем і популяцій живої природи та багато іншого.

Ключові слова: *ймовірність, математична логіка, множини, нечіткість, інженерна діяльність, неповна інформація*

Актуальність. Досліджуючи властивості і режими функціонування електроенергетичних комплексів (ЕЕК), фахівці стикаються з необхідністю прийняття відповідних рішень, як правило, в умовах неповної, неточної, не детермінованої, часто нечислової інформації. Звичайно, що за таких умов застосування добре розроблених класичних методів теорії функцій і функціонального аналізу для дослідження відповідних об'єктів стає обмеженим, малоефективним, а, нерідко, і взагалі неможливим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Концепція логіки в процесі застосування відповідних інструментів дослідження в різних галузях науки і техніки нині сприймається по різному з огляду на поставлені задачі та застосовані інтерпретації, кожна з яких виявляється ефективною і приводить до успіху за цілком визначених умов [1, 2 – 4]. Відповідно, застосування концепцій ймовірності і логіки концепцій в інженерній практиці актуалізує вирішення декількох пов'язаних одна з одною задач, якими визначається простір даного дослідження.

Мета дослідження – аналіз концепцій ймовірності і логіки, як роздільно, так і у вигляді відповідних інтегрованих структур, з огляду їх застосування в задачах оцінювання показників надійності і безпеки електроенергетичних комплексів.

Матеріали і методи дослідження. Представлена робота спрямована на аналіз різноманітних трактувань й інтерпретацій понять «ймовірність» і «логіка», на виявлення загального і роздільного, що притаманне цим поняттям, на обґрунтування неминучості й об'єктивності взаємопроникнення відповідних цим поняттям концепцій з урахуванням їх можливого застосування.

Результати досліджень та їх обговорення. Розвиток суспільства, науки, техніки, технології потребувало (і продовжує потребувати) все чіткішої відповіді на питання: «Чи існує зв'язок категорій ймовірності і логіки, й наскільки широким і заглибленим може бути цей зв'язок?». Пошук відповідей на ці питання надав поштовху дослідженням в напрямку пошуку шляхів усунення внутрішніх протиріч і обмежень як в галузі теорії ймовірностей, так і в галузі логіки. Наведене призвело до взаємного проникнення, а подекуди і до злиття (якщо можна застосувати таку метафору в цьому випадку) ймовірності і логіки, яке породило інші корисні як з

теоретичної, так і з практичної точки зору наукові напрямки, і, врешті-решт призвело до появи теорії нечіткості (теорії нечітких множин), яка нині вважається найбільш адекватним і ефективним інструментом вирішення багатьох практичних завдань в різних галузях людської діяльності.

Взаємопроникнення понять ймовірності і логіки. Інтерпретація поняття ймовірності, як міри можливої реалізації відповідної події, міри впевненості чи невпевненості в тому чи іншому висновку набула актуальності не тільки серед математиків та фахівців, які у своїй професійній діяльності стикаються з необхідністю прогнозувати ті чи інші події, або обробляти великі масиви даних. Ймовірність як категорія процесу пізнання становила (і продовжує становити) суттєвий інтерес для філософської спільноти. Це особливо проявилось на межі ХІХ та ХХ століть на фоні досягнень в галузі фізики, пов'язаних з необхідністю застосування не бінарних логічних структур. Інтерпретації ймовірності як деякої категорії, філософські дослідження цієї категорії з урахуванням багатозначних (не бінарних) логічних структур призвели до появи, так би мовити інтегрованих логіко-ймовірнісних і логічно-ймовірнісних структур.

Вважається, що логіка зародилася в ІV сторіччі до н.е. в Древній Греції і була пов'язана з ораторським мистецтвом. Разом логіка і риторика на той час відображали процеси оволодіння основами аргументації, логічними правилами доведення, формування форм мислення. Пройшло чимало часу перш ніж працями Ф. Бекона, Р. Декарта, Г. Лейбніца логіка (вже як наука) була спрямована на формування висновків на підставі суджень. Англійський вчений Ф. Бекон, засновник наукової індукції – індуктивної логіки – одним з перших в своїх дослідженнях звернувся до експерименту. Універсальним методом дослідження він проголосив індукцію – *рух думок від окремих фактів (гіпотез) до узагальнюючих висновків*. Французький філософ Р. Декарт був прихильником *дедуктивної логіки, яка була спрямована на підставі загальних висновків встановити істинність конкретних фактів*. Німецький філософ Г. Лейбніц вперше висловив думку щодо необхідності створення *символічної або математичної логіки*. Більше того, Г. Лейбніц вважав, що в майбутньому саме символічна логіка має всі шанси

перетворитися на «мистецтво обчислень», відповідно до якого всі суперечності між людьми можна буде вирішити за результатами відповідних обчислень: «Єдиний спосіб покращити наші судження – зробити їх наочними, щоб помилки можна було знаходити очима, і якщо серед людей виникає спір, то необхідно сказати: «Порахуємо!», тоді без особливих формальностей можна буде побачити, хто правий, а хто – ні». Однак ідея Лейбніца щодо можливості, необхідності і продуктивності зведення суджень до відповідних обчислень протягом багатьох років не знаходила відгуку ні серед філософів, ні серед математиків. Подальший розвиток науки показав, що не всі процеси пізнання навколишнього світу людиною, не всі судження можна записати символічною мовою. Однак ідея Лейбніца щодо введення відповідної символіки в логіку виявилася й ефективною, й продуктивною. Символічна логіка реально почала створюватися лише в середині XIX століття, діяльністю Дж. Буля, де Моргана, Ч. Пірса та ін. Застосування методів символічної логіки до вирішення проблем, що виникали у формальній логіці, дозволили не тільки вирішити ці проблеми, але й сформулювати і в значній мірі розв'язати задачі, які в рамках формальної логіки навіть не можна було поставити.

Сучасну формальну логіку часто ототожнюють з математичною логікою. Однак в повному об'ємі таке судження прийняти не можна. Математичною в строгому сенсі можна визнати лише ту частину формальної логіки, яка пов'язана з дослідженнями математичних артефактів. В той же час сучасна логіка містить чимало розділів і відгалужень, які оперують іншими поняттями, відносяться в більшій мірі до філософії, ніж до математики (модальна логіка, індуктивна логіка, багатозначна логіка, логіка норм і оцінок тощо), а отже і застосовують вербальну форму подання гіпотез та висновків [5, 6].

Інтерпретація ймовірності як степені розумної віри, яка в 20-і роки XX століття була запропонована англійським вченим Дж. М. Кейнсом, вважається першою інтерпретацією, яка багато в чому сприяла заснуванню структур, де поняття ймовірностей і логіки сходяться. Аналізуючи і критикуючи як класичну, так і частотну інтерпретації ймовірності, Дж. Кейнс запропонував розглядати *ймовірність як ступінь розумної віри*, яка приписується відповідним

висловлюванням (подіям) при точно фіксованих даних. «Терміни *достовірність* і *ймовірність*, - писав Дж. М. Кейнс, - описують різні степені розумної віри у деяке висловлювання, яку ми можемо приписати цьому висловлюванню при різному знанні». У інтерпретації Кейнса, ймовірність (як деяка числова величина) встановлюється для логічного відношення між двома множинами висловлювань. Вона відображає степінь віри в правильність (або неправильність) висловлювання, причому числова величина цієї степені віри не є постійною, а змінюється залежно від наявних знань (наявної інформації) щодо аналізованих явищ, об'єктів, процесів. Все наведене вказує на аналітичний, а не на емпіричний характер ймовірності. Зазначимо, що сам Кейнс підкреслював об'єктивний характер своєї інтерпретації ймовірності. Хоча степінь розумної віри (величина ймовірності) і змінюється зі зміною наявного знання, вона характеризує відношення між об'єктами, яке незалежне від свідомості людини. «Як важлива для логіки категорія – стверджував Кейнс, – ймовірність не суб'єктивна. Вона не є предметом людського капризу. Висловлювання ймовірне не тому, що ми так про нього думаємо. Як тільки надані факти, які визначають наші знання, то за таких обставин, що вважати ймовірним, а що неймовірним, фіксується об'єктивно і не залежить від думки суб'єкту. Теорія ймовірностей є логічною тому, що вона має справу зі степеню віри, яка є розумною при даних умовах, а не просто з фактичною вірою, яка може бути як розумною, так і не розумною».

Спроби побудувати на підставі зроблених висновків строгу систему (теорію) ймовірнісної логіки не призвели до успіху. Те, що було зроблено в цьому напрямку, виявилось надто громіздким і незручним. Не знайшли широкого безпосереднього застосування описані ідеї й у практичній діяльності. У той же час, зазначимо, що роботи в цьому напрямку не виявилися марними. Вони сприяли усвідомленню зв'язку між логікою і ймовірністю, що, врешті-решт, призвело до формування нових практично корисних наукових напрямків. Нині науковою спільнотою степінь розумної віри сприймається не як фактична віра суб'єкту у відповідне висловлювання, а як логічне відношення між висловлюваннями. При цьому міра розумної віри «перетворюється» на степінь підтвердження, яке слугує фундаментом

сучасної теорії індуктивної логіки.

Багатозначна логіка. Класична логіка за визначенням не може оперувати з поняттями, які окреслені не конкретно, неоднозначно, адже всі висловлювання (логічні змінні, гіпотези) в формальних системах цієї логіки можуть мати лише два взаємовиключних стани: «істина» зі значенням істинності «1» або «хибність» зі значенням істинності «0».

Принцип двозначності (закон виключеного третього) обумовлює безкомпромісну дискретність відображення аналізованих явищ, не залишаючи місця будь-якій невизначеності, модальним і ймовірнісним оцінкам цих явищ. Однак, сутність будь-якого ствердження, висновку, будь-якої гіпотези в багатьох випадках може сприйматися з більшою або меншою долею скептицизму. Адже ствердження «не повний» в багатьох випадках не означає «порожній», так само як ствердження «не порожній» може в повній мірі не характеризувати об'єкт як «повний». Бінарна оцінка істинності в подібних ситуаціях накладає суттєві обмеження на реалізацію відповідних досліджень, висновків, починає гальмувати, сковувати діяльність як творців наукових теорій, так і інженерну спільноту. Необхідність відображення невизначеності, неповноти понять «істина», «хибність» в процесі вирішення професійних завдань фахівців з різних областей знань призвела до пошуку, а врешті-решт, і до появи відповідних математичних артефактів, які суттєво розширили границі двозначної логіки, перетворивши її на багатозначну, як різновид формальної логіки, що допускає існування більше двох значень логічної змінної [2].

Однією з перших спроб віддалитися від бінарної логіки було введення в 1920 році польським філософом Я. Лукасевичем тризначної логіки, в рамках якої значення істинності характеризувалися як «істинно» - «можливо» - «хибно». Вказані значення відповідали оцінкам «1» - «0,5» - «0».

Нескінченнозначна логіка для двох змінних, імовірності істинності яких становлять a та b вводиться формальними положеннями: істинне значення змінної характеризується величиною, що знаходиться на відрізку дійсних чисел від 0 до 1; заперечення визначається як $1-a$, кон'юнкція – як $\min(a, b)$, а диз'юнкція – як $\max(a,$

b).

Введені правила дозволили описувати процеси та явища, як деякі функціональні залежності між діючими на об'єкт факторами (аргументами функції) та реакціями цього об'єкту (значеннями функції), здійснювати тотожні перетворення цих залежностей, формувати відповідні рішення тощо. Багатозначну (нескінченнозначну) логіку з визначеною долею умовності можна вважати предтечею нечіткої логіки.

Ймовірність і нескінченнозначна логіка. На перший погляд здається, що теорія ймовірностей аналогічна (або принаймні дуже близька за змістом) нескінченнозначній логіці, в рамках якої істинність реалізації деякої події характеризується категорією можливості, тобто встановлюється з тою чи іншою ймовірністю, яка приймає значення від 0 до 1 (нуль істинності означає повну хибність; одиниця істинності означає повну впевненість); ймовірність не реалізації деякої події відповідає запереченню; ймовірність одночасної реалізації двох подій відповідає кон'юнкції; ймовірність реалізації хоча б одної з двох подій відповідає диз'юнкції.

Однак між теорією ймовірностей і нескінченнозначними (як і між багатозначними) логіками є принципова відмінність, а саме: *в логіках істинне значення будь-якої функції повністю визначається істинним значенням її аргументів, тоді як в теорії ймовірностей ймовірність складної події (інтегрованої з подій-компонентів) залежить не тільки від ймовірностей подій-компонентів, але й від їх взаємної залежності, яка визначається через відповідні умовні ймовірності.* Наведене проявляється, зокрема, в тому, що в теорії ймовірностей виконується еквівалент «закону виключеного третього»: ймовірність того, що «деяка подія реалізується або не реалізується», завжди дорівнює одиниці (третього варіанту немає), тоді як в нескінченнозначних логіках закон виключеного третього не виконується; в теорії ймовірностей виконується еквівалент «закону протиріччя»: ймовірність того, що «деяка подія одночасно реалізується і не реалізується», завжди дорівнює нулю, тоді як в нескінченнозначних логіках закон протиріччя не виконується.

У той самий час прискіпливий аналіз дозволяє встановити існування деякого зв'язку між істинними значеннями категорій нескінченнозначної логіки і ймовірностями цих категорій (з огляду на класичну інтерпретацію поняття ймовірності). Цей зв'язок проявляється в наведених вище положеннях, якими на формальному рівні вводиться нескінченнозначна логіка, і які можна сформулювати у формі ймовірнісних висновків, а саме: якщо a є ймовірністю реалізації деякої події, то ймовірність не реалізації цієї самої події визначатиметься як: $1-a$; якщо a та b є ймовірностями реалізації деяких двох подій, то ймовірність сумісної (одночасної) реалізації цих двох подій не перевершуватиме величини: $\min(a, b)$, а ймовірність реалізації хоча б однієї з двох вказаних подій буде більшою або дорівнюватиме величині $\max(a, b)$.

Зв'язок концепцій імовірності і логіки наочно проявляється, якщо інтерпретувати ймовірність реалізації події як *міру довіри* до факту такої реалізації. За такої інтерпретації ймовірність реалізації події розглядається, як міра віри суб'єкту в цю реалізацію, тобто факт реалізації події «вкладається» в логіку мислення даного суб'єкту, який у своїх висновках, звичайно, спирається на відповідні наявні знання, або на власну інтуїцію та досвід. Подія, в реалізацію якої не має повної віри, але є деякі припущення щодо можливості такої реалізації (що не відкидається повністю), вважається ймовірною, її істинність характеризується величиною імовірності. Зважаючи на те, що величина ймовірності за такої інтерпретації залежить від степеню віри суб'єкту, ця інтерпретація ймовірності отримала назву *суб'єктивної імовірності* [2, 3].

В явному і більш-менш розвиненому вигляді така інтерпретація ймовірності вперше була представлена англійським вченим Ф. Рамсеєм у книзі «Основи математики» (1920 р.). Інтерпретація ймовірності як міри довіри зручна тим, що в ній безпосередньо вказаний практичний метод обчислення ймовірності. Для усвідомлення цього методу Рамсей пропонував аналіз процесу укладання деяким суб'єктом парі щодо реалізації події A . Якщо в процесі укладання парі ймовірність реалізації події A на підставі відповідних знань, логіки, досвіду, інтуїції суб'єкт оцінює найвищою ставкою, то ця ставка і пропонується даним суб'єктом.

Наприклад, якщо була прийнята ставка 3:2, то це означає, що суб'єкт оцінює ймовірність реалізації події A як $3/5$. Даний метод хоча й має свої недоліки, став базовим для подальшого розвитку даної концепції побудови ймовірних висновків.

У зв'язку з інтерпретацією ймовірності як міри довіри, тобто у зв'язку з введенням поняття суб'єктивної ймовірності, виникає принаймні два питання. *Перше. Чи може концепція суб'єктивної ймовірності бути застосована у практичній діяльності?* Нині це питання має цілком конкретну відповідь: там де виникає необхідність прагматичної оцінки реалізації деякої події, ми неминуче стикаємося з категоріями суб'єктивної ймовірності. Саме поняття суб'єктивної ймовірності знаходить плідне застосування в сучасній теорії прийняття рішень. *Друге. Яке місце займає суб'єктивна ймовірність серед інших інтерпретацій ймовірності?* Деякі вчені вважають суб'єктивну ймовірність єдиною можливою, основою всіх інших інтерпретацій. Однак, якщо прийняти таку інтерпретацію ймовірності як єдиною вірну і припустиму, то неможна раціонально пояснити існування усталеності частот масових явищ, що є основою для введення об'єктивної (емпіричної) інтерпретації ймовірності. Крім того, на підставі концепції суб'єктивної ймовірності не можна пояснити численні факти успішного практичного застосування концепції статистичної ймовірності в найрізноманітніших областях людської діяльності, включаючи і процедури прогнозування.

Ймовірнісна логіка. *Ймовірнісна логіка* – розділ логіки, де вивчаються логічні структури, для яких множина складових істинності висловлювань складається не з двох значень, як в бінарній логіці, а з усіх дійсних чисел, розміщених на відрізку $[0, 1]$. При цьому, як і в бінарній логіці, нуль відповідає події, що неможлива, а одиниця – події, що відбувається достовірно. Значення істинності у ймовірнісній логіці звуться ймовірностями істинності, степенями правдоподібності або ступенями підтвердження [3]. Найчастіше ймовірності додаються до системи бінарної логіки як нове відношення, що з'єднує множину висловлювань і множину значень істинності цих висловлювань (множину значень відповідних функцій) з інтервалу $0 \leq P(A) \leq 1$, де $P(A)$ - ймовірність істинності висловлювання (події, змінної) A . Часто ймовірнісну логіку розглядають як уточнення індуктивної логіки,

адже відношення між посилками індуктивного судження можна оцінити за допомогою ймовірності, величину якої можна визначити або чисельно, або через порівняння понять, наприклад, таких як «набагато більше», «більше», «менше», «набагато менше», «дорівнює» тощо.

Нині значення ймовірнісної логіки в наукових дослідженнях і практичній діяльності безперервно зростає, що обумовлено вибухоподібним розвитком інформаційних систем, штучних нейронних мереж тощо.

Однією з різновидів систем імовірнісної логіки є *системи прагматичної ймовірнісної логіки*, в яких поняття ймовірності застосовується для аналізу прагматичних аспектів дослідження. До подібних логічних систем відносяться *ймовірнісна логіка дії, ймовірнісна логіка вибору, ймовірнісна логіка змін, ймовірнісна логіка прийняття рішення, ймовірнісна логіка надання переваги (ймовірнісна логіка привабливості, ймовірнісна логіка пріоритетності)*. При цьому в деяких з цих систем поняття ймовірності в явному вигляді навіть не фігурує, але її зв'язок з основними поняттями відповідної структури в кожному випадку чітко простежується [1, 2 – 4]. Адже, якщо реалізації випадкової події із деякої статистичної сукупності подій приписати деяку ймовірність, то таку саму ймовірність можна співвіднести і з судженням, яке характеризує цю подію, тобто встановити однозначну відповідність між подіями і судженнями щодо цих подій. Ймовірнісна логіка, однак, спирається на логічну інтерпретацію ймовірності, згідно якої ця ймовірність розглядається як відношення між посилками й висновками індукції. Перші системи ймовірнісної логіки виникли в рамках логічної інтерпретації ймовірності, а отже нерідко визначаються як *індуктивна ймовірність*.

Змістовна сутність ймовірнісної логіки полягає в принциповій неможливості в процесі побудови визначених логічних структур повністю виключити з розгляду категорію *неповної достовірності (відносної істинності)* посилок і висновків, що притаманне будь-якому знанню, яке базується на індуктивних висновках, тобто будь-якому індуктивному знанню. Як логічна система ймовірнісна логіка є різновидом нескінченнозначної логіки. Багатозначність (точніше нескінченнозначність) ймовірнісної оцінки гіпотези не заперечує тому факту, що

сама гіпотеза може мати лише одне з двох значень істинності, тобто бути бінарною, адже величина ймовірності характеризує відношення цієї гіпотези до дійсності не безпосередньо (безпосереднє відношення гіпотези до дійсності залишається двозначним), а через інші гіпотези, що базуються на наявній інформації щодо аналізованих подій, тобто на інформації, яка на цей момент доступна. Отже, *концепція ймовірнісної логіки трактує ймовірність як характеристику логічної змінної.*

Теорію ймовірнісної логіки в найбільш повному вигляді вперше виклав Р. Карнап в роботі «Логічні основи ймовірності». В інтерпретації Карнапа поняття ймовірності розглядається як деяка категорія індуктивної логіки. При цьому ймовірність характеризує логічний зв'язок між судженнями, *ступінь підтвердження гіпотези H даними E , інакше кажучи, відносно даних E гіпотезі H притаманна ймовірність P .* У своїй роботі Карнап стверджує, що *подібні ймовірнісно-логічні структури слід вважати аналітичними, адже вони нічого не говорять про навколишнє середовище, є незалежними від емпіричної істинності як E , так і H , хоча ці категорії можуть визначатися і переважно визначаються емпіричними даними.*

Зазначимо, що в рамках цієї концепції поняття ймовірності не має нічого спільного з поняттям істинності. Приписування гіпотезі H ступені ймовірності $P = 1$ відносно визначених даних E не означає істинності вказаної гіпотези, адже дані E самі можуть бути хибними, і за таких умов істинність гіпотези H на підставі логічних висновків не може бути виведена. З тої самої причини ймовірність $P = 0$ не означає хибності гіпотези H відносно даних E .

Правомочність числового визначення ймовірності одних висловлювань на підставі інших, нині є предметом дискусії і вирішується по-різному представниками різних напрямків ймовірнісної логіки. Однак, обчислення ймовірності складних гіпотез (складних логічних функцій) за умови, що ймовірності окремих складових таких гіпотез відомі, у всіх системах ймовірнісної логіки здійснюється за правилами математичного числення ймовірностей, яке нині спирається на аксіоматичну систему. У такій системі визначаються властивості тих абстрактних категорій, про

ймовірності яких можна говорити, а також відповідні правила щодо отримання ймовірностей одних категорій (з урахуванням утворення ними відповідної структури) на підставі ймовірностей інших. Ймовірнісно-логічна концепція вписується в область логіки, набуває сутності під час аналізу (на основі логічних висновків) зв'язків між окремими гіпотезами.

Логічна ймовірність (логіка ймовірностей). *Логічна ймовірність* – логічне відношення між двома гіпотезами (подіями, змінними, висловлюваннями), характерна особливість якого полягає в тому, що цим відношенням встановлюється степінь (кількісна величина) підтвердження деякої гіпотези H свідоцтвом E [2 – 4].

Предметом логіки ймовірностей є обчислення ймовірності істинності випадкових подій, які приймають виключно два значення: 1 або 0.

Для надання математичної інтерпретації наведеного визначення логічної ймовірності розглянемо деяку логічну функцію $f(x)$, яка на наборі даних x може прийняти істинне значення. При цьому відомо, що прийняття функцією $f(x)$ істинного значення може відбутися лише з визначеною ймовірністю R , яка і є відповідною логічною ймовірністю. Математично це записується як $P\{f(x) = 1\} = R$.

Наведене слід трактувати так.

Є відповідна інформація щодо істинності набору змінних x . На підставі цієї інформації слід встановити ймовірність прийняття логічною функцією $f(x)$ істинного значення. Звичайно, чим більше інформації щодо істинності змінних x , тим вища буде величина вказаної ймовірності.

З точки зору статистичної інтерпретації ймовірностей функція підтвердження істинності запропонованої гіпотези є умовною ймовірністю.

Зазначимо, що *ймовірнісна логіка і логічна ймовірність не синоніми, а суттєво різні категорії, різні концепції до оцінювання істинності відповідних гіпотез. У першому випадку маємо справу з нескінченнозначною (багатозначною) логікою, у другому – з двозначною, бінарною логікою.*

Щоб підкреслити різницю понять «ймовірнісна логіка» і «логічна ймовірність», І. А. Рябініним введено поняття *детермінованої логіки* [4], яка за своєю суттю є бінарною логікою. За допомогою детермінованої логіки пропонується будувати

складні логічні функції на підставі відповідних логічних змінних або згортання («агрегування») найпростіших логічних функцій. У подальшому в отриманій логічній функції за спеціальними алгоритмами реалізується заміщення логічних аргументів ймовірностями їх істинності. На можливість застосування вказаних процедур звернув увагу засновник аксіоматичної теорії ймовірностей А.М. Колмогоров, який в роботі [7] довів теорему, названу *законом «0 і 1» (законом «нуля» й «одиниці»)*. Відповідно до цієї теореми, у випадку, коли граничні ймовірності відомі і з необхідністю дорівнюють нулю або одиниці, всі формули теорії ймовірностей для складних логічних функцій $f(x)$, аргументами яких є *незалежні у сукупності події*, стають правильними логічними формулами при заміні вказаних подій на відповідні висловлювання. Слід звернути увагу на те, що закон «0 і 1» передбачає взаємну незалежність всіх подій аналізованої сукупності. Можна говорити, що змінні аналізованої сукупності мають бути ортогональні. Саме ортогоналізації простору змінних є найскладнішою з обчислювальної точки зору процедурою, яка супроводжує практичне застосування логічної ймовірності.

Конкретні значення логічної ймовірності для кожного її синтетичного аргументу залежать від іншого судження, яке можна інтерпретувати як опис знань деякого суб'єкту (опис наявної у даного суб'єкту інформації) щодо аналізованого синтетичного аргументу. З огляду на таке трактування логічну ймовірність нерідко звуть епістемологічною ймовірністю, тобто ймовірністю, що залежить від наявних знань. За визначених умов логічну ймовірність можна трактувати як різновид *суб'єктивної ймовірності*. Однак величина логічної ймовірності однозначно визначається заданою системою знань, наявною інформацією, а отже має об'єктивний характер. Зважаючи на те, що логічні функції описують деяку подію (наприклад, перебування пристрою у відповідному технічному стані), логічну ймовірність можна розглядати як функцію, яка визначає відповідну характеристику таких подій.

Зазначимо, що концепція логічної ймовірності покладена в основу логіко ймовірнісного методу аналізу структурно складних систем [8], який нині застосовується при встановленні показників безвідмовності, безпеки і живучості

апаратурно-програмних комплексів різного призначення.

Логіка і ймовірність як інструменти інженерної діяльності. Взаємопроникнення категорій логіки і ймовірностей відкриває простір логічним інтерпретаціям ймовірнісних понять, актуалізує й обґрунтовує можливість визначення апріорного значення ймовірності через дослідження простору можливостей. При цьому такі можливості можуть бути задані, в тому числі, як не однакові, так би мовити, з різною вагою.

Ймовірнісна логіка є логікою, предметом якої є ймовірнісні змінні (висловлювання, гіпотези, судження), незалежно від того, чи розглядається ймовірність як властивість окремої змінної (за таких умов ймовірність приписується даній змінній як проміжне значення між істиною і хибністю, тобто в межах від нуля до одиниці) або як оцінка відношення пари «звичайних» бінарних змінних. На відміну від теорії ймовірностей у ймовірнісній логіці позначення ймовірності точним числом (визначення ймовірності конкретною величиною) не є головною вимогою. Логічний апарат, який будується на такій основі, застосовується для наближеної оцінки гіпотез не шляхом їх співвіднесення із реальністю, а через інші категорії, в яких відображаються наявні знання (наявна інформація) щодо досліджуваних об'єктів, явищ, процесів.

Логічна ймовірність спирається на наявний об'єм знань (наявну інформацію) і не залежить від невідомих фактів, тоді як частотна ймовірність спирається на факти, існуючі в реальному світі взаємовідношень тих чи інших подій і не має ніякого відношення до наявного об'єму знань.

Нині в практиці розрахунків безвідмовності, аналізу аварійних ситуацій, побудови алгоритмів діагностування структурно складних технічних об'єктів знаходять поширення методи, які спираються на структурно-логічні схеми таких об'єктів [8]. При цьому всі наявні в об'єкті сигнали (в широкому значенні цього слова, тобто впливи і реакції різного походження – електричні, механічні, гідравлічні тощо) подаються бінарними логічними змінними, а технічний стан об'єкта ідентифікується відповідною логічною функцією., що актуалізує дослідження і розвинення концепції логічної ймовірності і заснованих на цій

концепції методів логіко-ймовірнісного числення [7].

У процесі реалізації життєвого циклу будь-якого технічного об'єкту нерідко доводиться стикатися з ситуацією, коли наявних даних явно бракує для застосування методів теорії ймовірностей та алгоритмів, пов'язаних з логічними інтерпретаціями ймовірностей. Достатньо вказати на завдання встановлення та узгодження між виконавцем і замовником номенклатури та норм показників якості пропонованого до розроблення об'єкту, яке спирається на розгляд і порівняння різних можливих варіантів майбутньої реалізації вказаного об'єкту на підставі узагальненого показника якості, на завдання, пов'язані з прогнозуванням «залишкового» рівня показників надійності та безпечності об'єкту в процесі його експлуатації (що є актуальною задачею, особливо, для об'єктів тривалого використання), а також більшість завдань, пов'язаних з управлінням технологічним процесом виготовлення об'єкту, завдань автоматичного управління та багато іншого. Нині найпривабливішими методами вирішення наведених завдань вважаються методи теорії нечітких множин. Головна перевага таких методів полягає у можливості отримати більш-менш адекватну відповідь на поставлені питання щодо аналізованого об'єкту, процесу, події за наявності невеликого об'єму неповної і неточної апріорної інформації, поданої до того ж як у числовому, так і в нечисловому вигляді. При цьому зазначимо, що достатній для первинного уявлення про властивості аналізованих структур об'єм інформації можна отримати на підставі експертних оцінок (із забезпеченням експертам достатньої комфортності щодо формулювання висновків), порівняння прототипів, досвіду та інтуїції фахівців, зайнятих вирішенням поставлених завдань.

Висновки. Застосування теорії ймовірностей часто пов'язане з необхідністю робити погано обґрунтовані (або взагалі не обґрунтовані) спрощення моделі аналізованого об'єкта (процесу), що суттєво зменшує цінність отриманих результатів та ставить під сумнів їх адекватність. Крім того, застосування теорії ймовірностей стає практично неможливим при недостатньому об'ємі первинних даних. Слід зазначити, що в багатьох випадках (наприклад, у процесі обчислення показників безвідмовності об'єкту) безпосереднє застосування алгоритмів теорії

ймовірностей не передбачає врахування структури досліджуваного об'єкту, а також обтяжено умовою відповідності режиму функціонування складових частин режимам встановлення відповідних базових показників (наприклад, інтенсивність відмов компонентів). Принципово різні за структурою об'єкти, що працюють в умовах впливу різних за інтенсивністю сукупностей факторів, з метою застосування алгоритмів теорії ймовірності мають бути подані однаковими моделями, що може призвести (і часто призводить) до появи суттєвих методичних похибок в отриманих результатах.

Логічна інтерпретація ймовірності (зокрема, логіка ймовірностей) долає деякі з труднощів теорії ймовірностей методологічного характеру. Логічна ймовірність дозволяє врахувати структуру аналізованого об'єкту, виявити в такій структурі потенційно небезпечні місця з огляду на можливість виникнення та поширення аварійної ситуації, а також забезпечує додаткові можливості щодо підвищення ефективності алгоритмів діагностування. Однак, спираючись на статистичний матеріал у процесі обчислення кінцевих результатів дослідження логіка ймовірностей щільно прив'язана до наявності відповідних статистичних даних. Отримання таких даних нерідко (майже завжди) реалізується в умовах, що не відповідають реальним умовам експлуатації об'єкту, а це, звичайно, здатне суттєво викривити отримані висновки, а отже знизити ефективність відповідних рішень.

Список використаних джерел

1. Рузавин Г. И. Основы логики и аргументации. М.: Юнити-Дана, 2017. 320 с.
2. Бочвар Д. А., Григолия Р. Ш., Забежайло М. И., Рычков С. В., Аншаков О.М., Финн В. К. Многозначные логики и их применения: Логические исчисления, алгебры и функциональные свойства. Под ред. Финна В. К. Том 1. М.: ЛКИ, 2008. 504 с.
3. Бочвар Д. А., Григолия Р. Ш., Забежайло М. И., Рычков С. В., Аншаков О.М., Финн В. К. Многозначные логики и их применения: Логические исчисления, алгебры и функциональные свойства. Под ред. Финна В. К. Том 2. М.: ЛКИ, 2008. 240 с.
4. Рябинин И. А. О связи математической логики с теорией вероятностей. Ученые записки. Российский государственный гидрометеорологический университет. СПб.: 2008. №6, С. 170-176.
5. Халафян А. А., Боровиков В. Б., Калайдина Г. В. Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных. М.: ЛКИ, 2017. 320 с.

6. Вавилова Г. В., Гнездилова Н. С. Теория вероятностей и математическая статистика: Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 101 с.

7. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей. Физико - математическое наследие. М.: Либроком. 2013. 120 с.

8. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. 264 с.

References

1. Ruzavin G. I. (2017). Osnovy logiki i argumentatsii [Basics of logic and reasoning]. Moscow: Yuniti-Dana, 320.

2. Bochvar D. A., Grigoliya R. Sh., Zabezhaylo M. I., Rychkov S. V., Anshakov O. M., Finn V. K. (2008). Mnogoznachnye logiki i ikh primeneniya: Logicheskie ischisleniya, algebry i funktsionalnye svoystva. [Multivalued logics and their applications: Logical calculus, algebras and functional properties]. Edited by Finna V. K., Volume 1, Moscow: LKI, 504.

3. Bochvar D. A., Grigoliya R. Sh., Zabezhaylo M. I., Rychkov S. V., Anshakov O. M., Finn V. K. (2008). Mnogoznachnye logiki i ikh primeneniya: Logicheskie ischisleniya, algebry i funktsionalnye svoystva. [Multivalued logics and their applications: Logical calculus, algebras and functional properties]. Edited by Finna V. K., Volume 2, Moscow: LKI, 240.

4. Ryabinin I. A. (2008). O svyazi matematicheskoy logiki s teoriyei veroyatnostey [On the connection between mathematical logic and probability theory]. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, №6, 170-176.

5. Khalafyan A. A., Borovikov V. B., Kalaydina G. V. (2017). Teoriya veroyatnostey, matematicheskaya statistika i analiz dannykh [Probability theory, mathematical statistics and data analysis]. Moscow: LKI, 320.

6. Vavilova G. V., Gnezdilova N. S. (2014). Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Theory of probability and mathematical statistics] Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 101.

7. Kolmogorov A. N. (2013). Osnovnye ponyatiya teorii veroyatnostey. [Basic concepts of probability theory]. Physical and mathematical heritage. Moscow: Librokom. 120.

8. Ryabinin I. A. (2000). Nadezhnost i bezopasnost strukturno-slozhnykh sistem [Reliability and safety of structurally complex systems]. St. Petersburg: Politekhnik, 264.

ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЕ ЛОГИКИ И ВЕРОЯТНОСТИ В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

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

Аннотация. Представленная работа посвящена рассмотрению существующих концепций логики и направлена на анализ концепций вероятности и логики, как отдельно, так и в виде соответствующих интегрированных структур, учитывая их применения в задачах оценки показателей надежности и безопасности электроэнергетических комплексов. Логика, как научное направление, давно вышла за рамки философского дискурса и сегодня рассматривается как эффективный

инструмент практической деятельности в различных областях науки и инженерии. При этом нашли свое место как самостоятельные направления развития логики, так и структуры, в которых данная концепция интегрируется с другими концепциями, или становится основой для формирования новых эффективных инструментов. Очевидно, логика не является эмпирической наукой. Однако стимулы своего развития она черпает из практики реального мышления. Изменения в мышлении в конце концов приводят к изменению самой логики. Последнее может в некотором смысле служить обоснованием разветвления логики, которому она подвергалась в течение всего периода своего существования и дальнейшего развития.

Проведен анализ содержательной сущности структур, построенных как результат «слияния» понятий вероятности и логики с точки зрения их теоретического статуса и практического применения. Раскрыта причина вариативности интерпретаций понятий вероятности и логики, их философский смысл, объективная закономерность взаимопроникновения концепции вероятностных и логических выводов, формирование на этой основе теории нечетких множеств и новых инструментов инженерии, которые сегодня все больше пригодятся в процессе реализации жизненного цикла структурно сложных технических комплексов длительного использования, в исследованиях климатических изменений и экологии окружающей человека среды, в установлении текущего состояния и прогнозировании направлений дальнейшего развития социальных систем и популяций живой природы и многое другое.

Ключевые слова: *вероятность, математическая логика, множества, нечеткость, инженерная деятельность, неполная информация*

INTERPETRATION OF LOGIC AND PROBABILITY IN ASSESSMENT OF RELIABILITY OF ELECTRIC POWER COMPLEXES

G. Mirskikh, V. Vasyuk, T. Knizhka

Abstract. *The presented work, devoted to the consideration of existing concepts of logic, is aimed at analyzing the concepts of probability and logic, both separately and in the form of the corresponding integrated structures, taking into account their application in the problems of assessing the reliability and safety indicators of electric power complexes. Logic, as a scientific direction, has long gone beyond the framework of philosophical discourse and today is considered as an effective tool for practical activity in various fields of science and engineering. At the same time, both independent directions of the development of logic and structures in which this concept is integrated with other concepts or becomes the basis for the formation of new effective tools, have found their place. Obviously, logic is not an empirical science. However, the incentives of its development she derives from the practice of real thinking. Changes in the thinking of the end result in a change of logic itself. The latter can, in a sense, serve as a justification for the branching of logic to which it was subjected throughout the entire period of its existence and further development.*

The analysis of the content essence of the structures constructed as a result of the “fusion” of the concepts of probability and logic from the point of view of their theoretical status and practical application is carried out. The reason for the variability of

interpretations of the concepts of probability and logic, their philosophical meaning, objective regularity of the interpenetration of the concept of probabilistic and logical conclusions, the formation on this basis of the theory of fuzzy sets and new engineering tools, which today are increasingly useful in the process of implementing the life cycle of structurally complex technical complexes of long use , in the study of climatic changes and the ecology of the human environment, in establishing the current state and forecasting the directions of further development of social systems and populations of wildlife, and much more.

Key words: *probability, mathematical logic, multiple, equivocality, engineering activities, incomplete information*