

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу Романчук Катерини Геннадіївни «Метод Байєса при оцінці ризиків аварій та управлінні безпекою на гідровузлах», яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.06 – Інформаційні технології.

Актуальність теми. Гідровузли відносяться до унікальних і водночас до одних з найбільш поширених інженерних об'єктів, що мають високу соціально-економічну і екологічну відповідальність. Це надзвичайно складні природно-технічні системи синергетичного типу, які мають в своєму складі гідротехнічні споруди, обладнання, пристрої і устаткування різного виду, конструкції і призначення, водні та інші природні об'єкти тощо. При експлуатації гідровузли перебувають під впливом настільки великої кількості факторів, а можливі їх стани визначаються настільки значною кількістю будівництва, експлуатації. На практиці ці задачі можуть ускладнюватися і тим, що ресурси, які можуть бути при цьому використані, обмежені. Тому загальна проблема оцінки ризиків аварій на гідровузлах є актуальною.

Одним з підходів до вирішення цієї проблеми є розробка моделей та методів, які можуть бути використані для побудови інформаційних технологій імовірнісного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризиків аварій на гідровузлах. При цьому слід враховувати можливість виникнення і розвитку аварій на гідровузлах з різних причин та з різними наслідками, в тому числі і за малоімовірними або гіпотетичними сценаріями. Для коректної оцінки ризиків аварій на гідровузлах має застосовуватися системний підхід, використовуватися системні моделі та вся доступна інформація, як апіорна, так і апостеріорна, інформація, що стосується аварійних подій як статистичних фактів, так і подій-припущень.

Існуючі рішення задачі кількісної оцінки ризику аварій на гідровузлах, як правило, обмежуються структуризацією задачі, що дозволяє зводити складні, обтяжені невизначеністю різної природи, неструктуровані або «слабко структуровані» задачі прогнозування аварій на гідровузлах до «більш структурованих» задач прогнозування окремих форм чи видів аварій,

що можуть описуватися простішими формальними моделями. Рівень формалізації задачі імовірнісного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризиків аварій на гідровузлах можна суттєво підвищити за рахунок поєднання сценарного моделювання аварій з методом Байєса, що, зокрема, дозволить структурувати задачі завершити агрегацією отриманих оцінок. Для реалізації такого підходу необхідно розробити загальні принципи оцінки ризику аварій на гідровузлах з врахуванням різних модельних сценаріїв як несумісних подій та відповідні методи оцінки ймовірностей виникнення модельних сценаріїв аварій на гідровузлах як подій-припущень. Таким чином, тему дисертаційної роботи Романчук К.Г., в якій досліджується проблема оцінки ризиків аварій на гідровузлах на основі моделювання сценаріїв аварій як подій-припущень з використанням байєсівських процедур перетворення ймовірностей, слід вважати актуальною.

Основні наукові результати. В дисертаційній роботі Романчук К.Г. вирішується актуальна науково-практична задача розробки методів для побудови інформаційної технології імовірнісного прогнозування аварій на гідровузлах та кількісної оцінки ризиків аварій в задачах оцінки надійності і безпеки та управління безпекою гідровузлів як складних систем з врахуванням ризику в рамках сценарного підходу на основі байєсівських процедур перетворення ймовірностей.

Результати роботи мають наукове значення для розвитку методів імовірнісного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризиків збитків від аварій на гідровузлах для цілей оцінки їх надійності і безпеки та управління їх надійністю і безпекою.

В роботі отримано такі наукові результати:

- *отримав подальший розвиток* сценарний підхід до оцінки ймовірностей аварій та оцінки ризиків аварій на гідровузлах з використанням байєсівського перетворення ймовірностей, що дозволило розв'язувати задачу кількісної оцінки (повного) сумарного ризику збитків від аварії на гідровузлі з врахуванням різних модельних сценаріїв як несумісних аварійних подій-припущень; *вперше сформульовано* твердження про несумісність модельних сценаріїв аварій;

- *вперше застосовано* метод Байєса до імовірнісного прогнозування нетипових сценаріїв системних аварій на гідровузлах, пов'язаних з відмовами автоматичних засобів регулювання; *розв'язано* задачу оцінки ймовірності відмови зарезервованої системи з автоматичним перемиканням на резерв та задачу оцінки ймовірності аварії в системі з автоматичним регулюванням навантаження;

- в рамках байєсівського підходу удосконалено метод оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускну здатністю як однорідної системи з неповним функціональним резервуванням; *вперше розроблено* метод оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускну здатністю як неоднорідної системи з врахуванням пріоритету виконання різних функціональних запитів;

- на основі сценарного підходу до оцінки ризику збитків від аварій з використанням байєсівського перетворення ймовірностей *вперше розроблено* метод оцінки значущості за Фусселем – Веслі аварійних подій на гідровузлі за ймовірністю та ризиком збитків з метою їх ранжирування за пріоритетом безпеки;

- в рамках сценарного підходу до оцінки ризиків збитків з використанням байєсівського перетворення ймовірностей *вперше розроблено* метод обґрунтування зліченної множини модельних сценаріїв аварії на гідровузлі та вибору розрахункових проектних подій екстремального характеру малої ймовірності у відповідності з принципом розумно досяжного низького рівня ризику.

Практична цінність результатів роботи. Розроблені і удосконалені в ході виконання дисертаційної роботи методи дозволяють здійснювати імовірнісне прогнозування аварій та кількісну оцінку ризиків збитків від аварій на гідровузлах з метою оцінки їх надійності і безпеки та управління їх надійністю і безпекою в умовах ресурсних обмежень у відповідності з принципом розумно досяжного низького рівня ризику. Загальні принципи оцінки ризику аварій та методи прогнозування окремих модельних сценаріїв аварій на гідровузлах можуть бути використані при створенні інформаційних систем для імовірнісного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризиків аварій на гідровузлах в задачах оцінки їх надійності і безпеки та управління безпекою гідровузлів як складних систем з врахуванням ризику.

Результати дисертаційної роботи Романчук К.Г. отримали належне практичне застосування та використовуються в навчальному процесі, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Достовірність отриманих результатів. Достовірність наукових результатів роботи підтверджується: коректним вибором і застосуванням методів дослідження, а саме, системно-структурного та абстрактно-логічного аналізу, системного аналізу, теорії ймовірностей та математичної статистики, математичної теорії надійності і математичної теорії ризику, математичної логіки та теорії прийняття рішень; адекватністю інформаційних та математичних моделей аварійних ситуацій на гідровузлах, коректністю постановок задач імовірнісного прогнозування аварій на гідровузлах.

Основні положення та результати дослідження доповідалися автором на 42 міжнародних та науково-практичних конференціях та семінарах.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних джерел, анотацій і 4 додатків.

Вступ містить обґрунтування актуальності дослідження, об'єкт, предмет, мету та задачі досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також інші відомості щодо дисертаційної роботи.

В першому розділі подано аналіз сучасного стану проблеми оцінки та забезпечення техногенної безпеки, підходи, методи і моделі, що використовуються при оцінці ймовірностей техногенних аварій, й визначено перспективи використання ризик-орієнтованого напрямку досліджень в сфері техногенної безпеки гідровузлів.

Встановлено, що задачі прогнозування аварій на гідровузлах є складними системними задачами, обтяженими параметричною і структурною невизначеністю чинників, аналіз та формалізація яких в повній мірі можливі лише на рівні подій-припущень з використанням суб'єктивних ймовірностей. Показано, що для вирішення задач імовірнісного прогнозування аварій та кількісної оцінки ризику аварій на гідровузлах з врахуванням різних факторів, як природних, так і техногенних, необхідно застосувати сценарний підхід, який дозволяє складні, неструктуровані або «слабо структуровані» задачі прогнозування аварій на гідровузлах, обтяжені невизначеністю різної природи, зводити до «більш структурованих» задач прогнозування складних аварійних подій за окремими модельними сценаріями, що можуть описуватися простішими формальними моделями.

У другому розділі сформульовано основні узагальнення – означення і твердження – та здійснено загальну постановку задачі кількісної оцінки ризиків аварій на гідровузлах в рамках сценарного підходу з використанням байєсівського перетворення ймовірностей.

Запропоновано виходити з того, що аварія на гідровузлі може виникнути з будь-якої з довільних аварійних подій-причин, може відбутися в різних формах або видах, але лише за одним зі встановлених у вигляді ідеалізованих подій-припущень сценаріїв. При цьому повний (сумарний) ризик збитків від аварії має встановлюватися з врахуванням різних несумісних сценаріїв її реалізації, а повна ймовірність аварії – з врахуванням всіх довільних аварійних подій-причин, в тому числі і сумісних.

Розглянуто приклади використання сценарного підходу та методу Байєса при оцінці ризику аварій на гідровузлах: оцінки ризику збитків від аварійного виливу води з басейну добового регулювання Зарамагської ГЕС-1

з врахуванням кількох модельних сценаріїв, з якими пов'язуються різні збитки; імовірнісного прогнозування на основі історичних даних можливості видатного затору в нижньому б'єфі Богучанського гідровузла при заповненні водосховища. Показано, що метод Байєса дозволяє враховувати несумісність реалізації модельних сценаріїв на основі переоцінки ймовірностей аварійних подій в залежності від зміни ситуації та нових даних.

З метою узагальнення байєсівського підходу до оцінки ризиків аварій на гідровузлах розглянуто можливість використання при імовірнісному прогнозуванні аварій байєсівських мереж та наведено три способи формування повних груп подій серед подій-умов, які можуть обумовлювати виникнення аварій на гідроспорудах.

Третій розділ присвячено оцінці ймовірностей нетипових сценаріїв аварій на гідровузлах, зокрема: при відмовах систем автоматики та автоматичних засобів регулювання; на випадок поширення гідродинамічних аварій на каскадах напірних гідроспоруд; та внаслідок відмов водоскидних споруд за пропускною здатністю як систем з неповним резервуванням. Необхідність розв'язання цих задач пояснюється тим, що в останній час, на гідровузлах, в зв'язку з впровадженням автоматизованих систем контролю та управління, експлуатацією унікального устаткування і обладнання, роботою гідроспоруд в каскадах гідровузлів, у зв'язку з кліматичними змінами тощо, виникли передумови для виникнення складних системних аварій, що можуть розвиватися за малоімовірними в минулому сценаріями.

Отримано формули для оцінки ймовірності відмови зарезервованої системи з автоматичним перемиканням на резерв та ймовірності аварії в системі з автоматичним регулюванням навантаження. На основі отриманих залежностей виконано ретроспективне прогнозування можливості розвитку аварії на гідроагрегаті №2 Саяно-Шушенської ГЕС в 2009 р. за сценарієм відмови зарезервованої системи з автоматичним перемиканням на резерв та імовірнісне моделювання можливості виникнення аварії на верховому басейні ГАЕС Таум Саук в 2005 р. за сценарієм відмови системи з автоматичним регулюванням навантаження.

Проаналізовано особливості аварійності гідровузлів у складі каскадів. Отримано залежності для оцінки ймовірностей модельних сценаріїв поширення гідродинамічних аварій на каскадах гідроспоруд, що мають різне висотно-географічне та просторове положення на місцевості, для різних розрахункових випадків.

Зважаючи на суттєве посилення повеневої небезпеки на ріках, зокрема у зв'язку з антропогенними та глобальними кліматичними змінами, старінням гідроспоруд, що знаходяться в тривалій експлуатації, зокрема і водоскидів,

механічного обладнання, що на них встановлюється, розглянуто задачу прогнозування аварій на гідровузлах внаслідок відмов водоскидів за пропускною здатністю, як систем з неповним резервуванням. За результатами досліджень удосконалено метод оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускною здатністю як однорідної системи з неповним функціональним резервуванням та розроблено метод оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускною здатністю як неоднорідної системи з врахуванням пріоритету виконання функціональних запитів.

У **четвертому розділі** розглянуто загальні принципи та сформульовано першочергові задачі управління безпекою гідровузлів з врахуванням ризиків аварій. В якості основного принципу управління безпекою гідровузлів з врахуванням ризику аварій запропоновано використовувати принцип розумно досяжного низького рівня ризику. Серед першочергових задач, які мають вирішуватися при управлінні безпекою гідровузлів з врахуванням ризику, виділено такі: 1) ранжирування аварійних подій за значущістю; 2) обґрунтування зліченої множини розрахункових аварійних подій та вибору розрахункових проектних подій екстремального характеру малої ймовірності; 3) оптимізації показників надійності засобів автоматичного контролю і регулювання безпеки, що встановлюються на гідровузлах.

Розроблено метод оцінки значущості аварійних подій за Фусселем – Веслі як за ймовірністю, так і ризиком збитків. Встановлено, що значущість аварійних подій за ймовірністю і ризиком збитків може суттєво розрізнятися, і що використання критерію безпеки, за яким обмежується лише ймовірність аварії або деякої екстремальної події, яка може аварію спричинити, не є достатнім для забезпечення належної безпеки такої складної інженерної системи як гідровузол, де можуть відбуватися аварійні події не лише з різними ймовірностями, а й різними збитками. При цьому, як показано, оцінка значущості аварійних подій за ризиком збитків дає можливість здійснювати економічне обґрунтування додаткових досліджень чинників аварійності, які вносять найбільший внесок в сумарний ризик збитків, або нехтувати, при відповідному обґрунтуванні, малої ймовірними чинниками, хоча і обтяженими великими збитками, внески яких в сумарний ризик збитків є незначним, і таким чином, здійснювати раціональний відбір розрахункових подій малої ймовірності. Крім того, на прикладі оптимізації складу зарезервованої системи з автоматичним перемиканням на резерв при заданому рівні її надійності з використанням методу Лагранжа показано, що задача оптимізації складу систем автоматичного регулювання на гідровузлах може бути зведена до встановлення оптимального співвідношення вартості та надійності її окремих структурних одиниць.

Список використаних джерел складається з 237 наукових праць (на 22 сторінках).

У **висновках** сформульовано основні наукові та практичні результати роботи.

В **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та опублікованих в роботах автора. Всього за темою дисертаційної роботи опубліковано 52 праці. Основні результати дисертації опубліковані в 29 публікаціях, серед яких: 15 статей у фахових наукових виданнях, що внесені до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук, затвердженого МОН України, у тому числі 2 у виданнях, що реферуються в міжнародних наукометричних базах даних; 4 статті у закордонних профільних збірниках наукових праць; 3 статті у інших профільних виданнях; 7 тез доповідей на профільних міжнародних наукових та науково-технічних конференціях; 5 праць опубліковано без співавторів.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації

1. В дисертації не запропоновано загальної структури інформаційної системи імовірнісного прогнозування аварій на гідровузлах та кількісної оцінки ризиків аварій при розв'язанні задач оцінки надійності і безпеки та управління безпекою гідровузлів з врахуванням ризику.

2. Недостатньо досліджено роль суб'єктивного фактору (помилкових дій людей) та старіння споруд і конструкцій, як одного з суттєвих ризиків аварійності технічних систем, зокрема і гідроспоруд, в майбутньому.

3. Серед загальних рекомендацій щодо підвищення надійності і безпеки гідровузлів відсутні практичні рекомендації, що стосуються вітчизняних гідроспоруд. Зокрема в роботі основна увага приділяється прикладам побудови модельних сценаріїв аварій та імовірнісного їх прогнозування з оцінкою ризику аварій на зарубіжних гідровузлах.

4. Для збільшення вагомості результатів досліджень було б доцільним розглянути можливість застосування при розв'язанні поставлених задач нейронних мереж та генетичних алгоритмів, структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей, зокрема у відношенні прогнозування аварій на гідровузлах, що експлуатуються тривалий час і обладнані контрольно-вимірювальною апаратурою.

5. Серед факторів, які можуть впливати на аварійність гідровузлів не відображено питань, пов'язаних з технічною діагностикою гідроспоруд, моніторингом їх стану та стану навколишнього середовища.

6. Хоча робота написана з використанням коректної сучасної термінології, втім в тексті зустрічаються деякі незначні орфографічні і пунктуаційні помилки.

Вказані зауваження не зменшують високої загальної наукової цінності одержаних в дисертації результатів, а можуть розглядатись як побажання для подальшої наукової діяльності автора в даному напрямі досліджень.

Загальні висновки

Дисертація Романчук Катерини Геннадіївни на тему «Метод Байєса при оцінці ризиків аварій та управлінні безпекою на гідровузлах» відповідає вимогам п. п. 11 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року.

Дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій отримано нові науково-практичні результати, що стосуються розробки методів, необхідних для побудови інформаційної технології імовірнісного прогнозування аварій на гідровузлах та кількісної оцінки ризиків аварій в задачах оцінки надійності і безпеки та управління безпекою гідровузлів як складних систем з врахуванням ризику в рамках сценарного підходу на основі байєсівських процедур перетворення ймовірностей. Вказані зауваження суттєво не зменшують загальну позитивну оцінку роботи.

Викладене вище дає підстави зробити остаточний висновок про те, що Романчук Катерина Геннадіївна заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»,
професор кафедри
математичних методів системного аналізу

В.Я. Данилов

В.Я. Данилов

