

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ РИЗИКІВ НА ТЕХНІЧНУ БЕЗПЕКУ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Ю.К. Бондаренко, О.В. Ковальчук

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Згідно обов'язкових вимог технічних регламентів до технічної документації на відповідальну продукцію зварювального виробництва, технічна документація повинна давати можливість оцінити відповідність продукції нормативним вимогам і включати опис проведення і результати належного аналізу та оцінки ризику (ризиків). На даний час достовірна методика оцінювання ризику зварної конструкції відсутня. В статті визначено особливості виникнення ризиків протягом життєвого циклу продукції. Розглянуто алгоритм виникнення складових ризику при експлуатації зварної конструкції, який є сумарною як ризиків, пов'язаних з відхиленнями процесів проектування, виготовлення, експлуатації (іншими словами, пов'язаних з процесами життєвого циклу продукції), так і ризиків, пов'язаних з небезпеками, які виникають від дій на конструкції та імовірністю експлуатації конструкції поза межами призначення. Відзначено, що ризик при експлуатації є імовірність досягнення конструкцією граничного стану протягом визначеного періоду експлуатації. При цьому граничні стани підрозділяються на дві групи. До першої групи належать граничні стани, перехід через які призводить до повної непридатності об'єкта. До другої групи відносяться ті, які ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта або зменшують його довговічність порівняно з встановленим терміном. При експлуатації зварна металева будівельна конструкція зазнає, насамперед, механічних і корозійних впливів. Дано посилання на теорії та наведено формули, які визначають імовірності відмови металевої конструкції. Рекомендовано для розрахунку сумарної величини ризику експлуатації користуватись формулою Байеса. Бібліогр. 17, табл. 8, рис. 4.

Ключові слова: ризик, ризик експлуатації, управління ризиками, менеджмент ризику, імовірність виникнення небезпек, зварна конструкція, технічна безпека

Кожен виробник зварної конструкції має на меті випускати продукцію належної якості, задовольняти споживача, зацікавити нових покупців, інвесторів і при цьому виконувати обов'язкові законодавчі та нормативні вимоги, які до неї пред'являються. На даний час обов'язкові технічні вимоги до відповідальної зварювальної продукції визначені Технічними регламентами [1–3] (табл. 1) та конкретизовані стандартами, переліки яких затверджені відповідними наказами Міністерства економічного розвитку та торгівлі України.

Проте, в реальному житті виробники зварних конструкцій стикаються з низкою небезпек, які можуть негативно впливати на виробництво і бути причиною випуску бракованої продукції, зниження обсягу випуску, втрачання ринку та інше. Небезпеки (небезпечні фактори) можуть мати по відношенню до виробництва як зовнішнє, так і внутрішнє походження. Ці фактори детально розглянуто в попередніх статтях авторів [4–6]. Небезпеки породжують ряд невизначеностей щодо того, чи зможе виробництво досягнути поставлених цільових показників і у який термін. Такий вплив невизначеностей на цілі і розглядається як ризики [7, 8].

Дійсно, за визначенням, згідно стандарту ДСТУ ISO Guide 73:2013 «Керування ризиками.

Словник термінів», термін ризик визначається як вплив невизначеності на цілі.

Вплив розглядається як відхилення з позитивними і негативними наслідками. Цілі можуть мати різні аспекти (такі як фінансові аспекти, які стосуються професійної безпеки та здоров'я, екологічні завдання) і можуть відноситись до різних рівнів (таким як стратегічний рівень, організаційний, рівень проекту, продукції, процесу). Ризик часто характеризується посиланнями на потенційно можливі події і наслідки або їх комбінації. Ризик часто виражається в комбінації події і пов'язаної з нею імовірності інцидентів (аварій, невідповідностей вимогам нормативних документів). Невизначеність – це стан, в тому числі, часткової відсутності інформації відносно розуміння чи знання подій, їх наслідків або імовірності [7].

Підприємство ідентифікує ризики, аналізує, оцінює ризики і приймає рішення, чи слід змінювати ризик шляхом його обробки, чи слід прийняти його [9]. Якщо такий процес керування конкретними ризиками інтегрований в загальну систему управління на підприємстві, це означає, що підприємство впроваджує менеджмент ризику. При цьому об'єктами менеджменту ризику є як система управління в цілому, її процеси, так і

Таблиця 1. Зварювальна продукція, на яку поширюються технічні регламенти

Номер з/п	Назва зварної конструкції	Назва технічного регламенту
Зварні конструкції		
1	Парові та водогрійні котли	Технічний регламент водогрійних котлів, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі Технічний регламент приладів, що працюють на газоподібному паливі
2	Посудини, що працюють під тиском	Технічний регламент безпеки обладнання, що працює під тиском Технічний регламент безпеки простих посудин високого тиску
3	Пересувне обладнання, що працює під тиском	Технічний регламент пересувного обладнання, що працює під тиском
4	Зварні конструкції для будівництва, будівельні матеріали (в тому числі полімерні труби)	Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд
5	Складові частини для залізничного транспорту, рейки	Технічний регламент безпеки інфраструктури залізничного транспорту
6	Зварні вироби для сільськогосподарських та лісгосподарських машин	Технічний регламент щодо складових частин і характеристик колісних сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів
7	Вантажопідіймальне обладнання	Технічний регламент безпеки машин
8	Кузови автомобілів	Технічний регламент з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів (в т. ч. Постанова КМУ від 22 грудня 2010 р. N 1166 «Про єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються»)
Зварювальне обладнання		
9	Зварювальне обладнання	Технічний регламент низьковольтного електричного обладнання Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання Технічний регламент машин і механізмів
Зварювальне обладнання (засоби індивідуального захисту)		
10	Засоби індивідуального захисту	Технічний регламент засобів індивідуального захисту

конкретні проекти, процеси, продукція. Всі складові менеджменту пов'язані між собою. Дійсно, результируючим якісних технологічних процесів (процесів, ризик яких визначено і утримується на прийнятному рівні) є якісна продукція (та, яка несе в собі мінімальний визначений прийнятний ризик). І навпаки, не можна отримувати якісну продукцію, якщо виробничі процеси містять значні невизначеності. Сучасна організація управління підприємством [10] будується на принципах ризик-орієнтованого підходу і визначає залежність ступеню регулювання процесів від ризиків (невизначеностей), які пов'язані з процесами.

Важливою складовою керування ризиком і менеджменту ризиком в цілому є впровадження моніторингу, в тому числі, оцінювання якості продукції методами неруйнівного контролю і технічної діагностики. Контроль, з точки зору ризик-орієнтованого підходу, має щодо ризику вирішальне значення. Контроль є діяльністю, яка визначає стан ризику конструкції. За результатами контролю розробляються дії з обробки ризику з метою зменшення його ступеню. Процес керування ризиком показаний на рис. 1.

Технічний регламент встановлює основні вимоги до безпеки, проектування, виготовлення, оцінки відповідності, маркування та введення в дію продукції, а також визначає порядок нагляду за дотриманням зазначених вимог.

Згідно Технічних регламентів встановлені наступні вимоги до технічної документації щодо проектування та розроблення продукції [2]: «Виробник розробляє технічну документацію, яка повинна давати можливість оцінити відповідність продукції відповідним вимогам і включати опис проведення і результати належного аналізу та оцінки ризику (ризиків). У технічній документації повинні зазначатися застосовані вимоги та пов'язані з проведенням оцінки відповідності питання проектування, виробництва і функціонування продукції. Технічна документація повинна

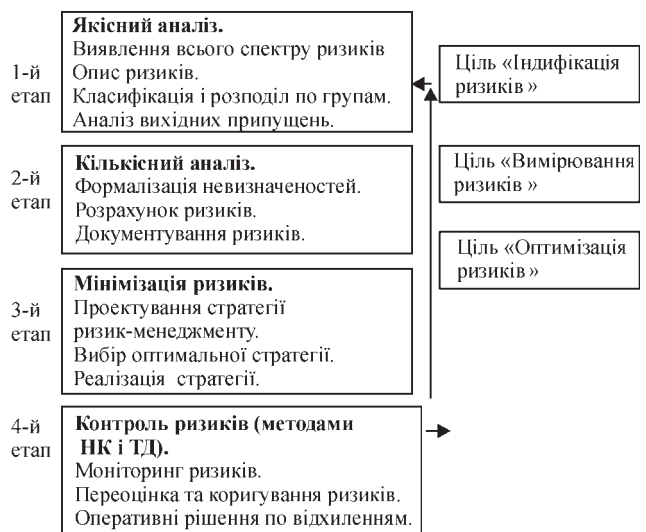


Рис. 1. Алгоритм керування ризиком

у відповідних випадках містити принаймні такі елементи:

- загальний опис продукції;
- ескізний проект, виробничі креслення та схеми компонентів, складальних вузлів, електричних кіл тощо;
- описи та пояснення, необхідні для розуміння зазначених креслень і схем та функціонування продукції;
- список застосованих повністю чи частково національних стандартів та/або інших відповідних технічних специфікацій, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції суттєвим вимогам, а в разі, коли зазначені стандарти не були застосовані, - описи рішень, прийнятих з метою забезпечення відповідності суттєвим вимогам технічного регламенту. У разі часткового застосування національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції суттєвим вимогам, у технічній документації повинні зазначатися їх частини, які були застосовані:

- результати виконаних проектних розрахунків, проведених досліджень тощо;
- протоколи випробувань.

Таким чином, однією з умов, які ставляться до проектування, виготовлення та розміщення товарів на ринку, є «належний аналіз та оцінка ризику (ризиків)».

В визначенні, яке застосовується Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [1], термін «ризик» означає можливість виникнення та імовірні масштаби наслідків негативного впливу протягом певного періоду часу.

Згідно закону України «Про загальну безпечність нехарчової продукції» [3]:

серйозний ризик – будь-яка загроза суспільним інтересам, що потребує оперативного втручання державних органів, у тому числі така, наслідки якої не виявляються негайно;

ступінь ризику – рівень небезпеки (загрози) суспільним інтересам, що становить або може становити продукція.

Ризик продукції виникає на всіх стадіях життєвого циклу зварювальної продукції. Кожний етап життєвого циклу «накладає» свій ризик, а найбільший ризик продукції утворюється при її експлуатації в реальних умовах.

В ході виконання науково-дослідної роботи встановлено, що ризик продукції протягом життєвого циклу пов'язаний з (рис. 2):

1. Призначенням конструкції;
2. Виробничими чинниками, а саме: невідповідностями процесів:

- 2.1. проектування;
- 2.2. виробництва;
- 2.3. монтажу;
- 2.4. експлуатаційного обслуговування;
- 2.5. недостовірностями та невизначеностями процесів випробувань протягом життєвого циклу п.п.1–4;
3. Фізичними впливами на конструкцію.

Поетапне виникнення ризику протягом життєвого циклу зварної конструкції схематично показано на рис. 2, як результат наступних основних груп складових: *a* – функціонування невідповідної системи менеджменту якості: проектування зварної конструкції, виробництва, технічного обслуговування; *b* – основних факторів зовнішніх загроз.

При підготовці технічного завдання, виконання проектування виконується аналіз призначення продукції [2, 11, 12].

Аналіз призначення конструкції містить:

- умови експлуатації (дії на конструкцію);

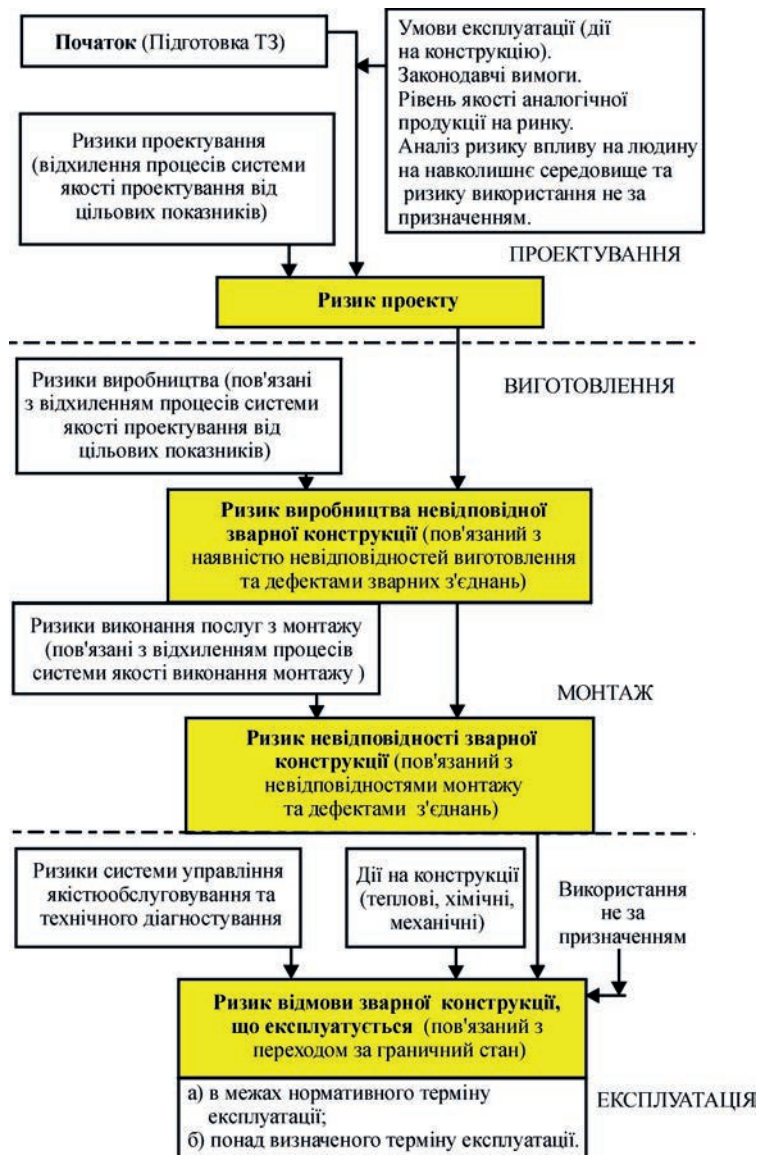


Рис. 2. Алгоритм виникнення ризику в зварних конструкціях

- законодавчі вимоги щодо конструкції та аналізування ризиків;
- рівень якості аналогічної продукції на ринку;
- аналіз ризиків впливів на людину при виробництві та експлуатації конструкції;
- аналіз ризику впливу на навколишнє середовище при виробництві та експлуатації;
- аналіз ризиків використання зварної конструкції не за призначенням;
- аналіз залишкових ризиків після дій персоналу при усуненні екстрених ситуацій.

Стандарти менеджменту якості розглядають ризики як імовірність відхилення кожного з процесів, який описує повну діяльність зварювального підприємства по управлінню, постачанню, виробництву конструкцій, моніторингу, застосовуючи методи НК і ТД.

Тому рекомендуємо визначити ризики, притаманні кожному з процесів. Детальна схема процесного підходу в зварювальному виробництві представлена авторами на рис 3. Процесний підхід дозволяє визначити як власника процесу, так і власника ризику, та відповідальних за процес, з яким пов'язано виникнення ризику. Це дозволяє також встановити процеси, які передують даному процесу і визначають причинно-наслідкові зв'язки при виникненні ризику при виготовленні конструкції. Аналогічний підхід застосовується і для системи управління якістю організацій, які відповідають за експлуатування (технічне обслуговування) конструкції.

Виробничий ризик, пов'язаний з відхиленням того чи іншого процесу, розраховується як добуток двох величин: а) імовірності відхилення процесу від цільового показника виконання та б) величини наслідку, який пов'язаний з даним процесом [6].

Документування виявлених ризиків доцільно проводити за формою табл. 2.

На зварну конструкцію, яка експлуатується, діють фізичні впливи, які мають механічну, теплову і хімічну природу, та їх комбінації.

При експлуатації будівельних конструкцій суттєвими впливами можуть вважатись механічні дії на конструкцію та корозійні впливи, що приводять до корозійного пошкодження металу.

Ризик експлуатації конструкції розглядається як імовірність відмови і пов'язані з цим втра-

ти. Відмовою може вважатися зміна властивостей конструкції понад граничний стан. Аналіз літературних джерел показав, що граничний стан від механічних дій на будівельну конструкцію поділяють на дві групи, які в свою чергу має підгрупи.

Перша група містить граничні стани, перехід через які призводить до повної непридатності об'єкта (основи конструкції, конструкції або елемента) до експлуатації і для яких позаграничними станами може бути: руйнування будь-якого характеру (в'язке, крихке, в результаті втомлюваності); втрата стійкості форми; втрата стійкості положення; перехід у змінну систему; якісна зміна конфігурації елементів зварної конструкції; інші явища, за яких виникає потреба в припиненні експлуатації (наприклад, виникнення перфорації стінки ємності з токсичними речовинами або надмірні переміщення основи при посадках сипучих ґрунтів).

Граничні стани першої групи можуть бути пов'язані з порушенням вимог збереження чи можливості існування конструкції або недотримання вимог безпеки для людей і довкілля. Досягнення граничного стану конструкції першої групи класифікується як відмова-зрив (відмова, яка одразу ж викликає збитки).

Друга група містить граничні стани, які ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта або зменшують його довговічність порівняно з встановленим терміном експлуатації і для яких позаграничними станами є: надмірне перевищення або повороти деяких точок конструкції; недопустимі коливання (надмірні значення амплітуди, частоти, швидкості, прискорення); утворення та розкриття внутрішніх дефектів, досягнення ними гранично-допустимих значень розкриття чи довжини (в відповідальних конструкціях тріщини не допускаються); втрата стійкості форми у вигляді локального деформування; пошкодження від корозії чи інших видів фізичного зношення, які призводять до необхідності обмеження експлуатації внаслідок зменшення терміну експлуатації об'єкта.

Граничні стани другої групи можуть бути пов'язані з порушенням вимог щодо використання зварної конструкції без обмежень, можливостей обслуговування персоналом, неналежне використання НК і ТД, зовнішнього вигляду, можливостей модернізації. Часто ці граничні стани класифікуються як «відмова – перешкода».

Таблиця 2. Формуляр карти реєстрації і обробки ризиків (рекомендована форма таблиці)

Відділ	Категорія ризику	Підкатегорія	Опис ризику	Наслідок ризику	В даний момент			Власник ризику	Наступні дії, що відносяться до пом'якшення	Власник пом'якшення	Нормований показник, пов'язаний з джерелом ризику	Терміни виконання	Цільові показники		
					Імовірність	Впливи	Ступені ризику						Імовірність	Впливи	Цільовий рівень ризику після пом'якшення

Умова забезпечення безвідмовності, тобто не виходу за граничний стан, записується нерівністю виду [13]:

$$g(G_d, f_d, a_d, C, \gamma_n, \gamma_d, T_{ef}) \geq 0,$$

де $g(o)$ – така функція параметрів системи, за якої $g(o) < 0$ означає досягнення позаграничного стану; G_d, f_d, a_d – розрахункові значення навантажень, характеристик міцності матеріалів або опору ґрунтів та геометричних характеристик конструкції відповідно; C – обмеження на параметр, що контролюється (наприклад, допустиме граничне розкриття дефекту); γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю (коефіцієнт відповідальності), який враховує значущість конструкції і об'єкта в цілому, а також можливі наслідки відмови та враховується як множник до розрахункового значення навантаження; γ_d – коефіцієнт надійності моделі, який враховує невизначеність розрахункової схеми та інші аналогічні обставини (наприклад, чутливість конструкції до локальних руйнувань, початкові недосконалості, підвищену швидкість зношення), приймається як множник до розрахункового значення навантаження.

В стандарті [13] розглядається розрахунок імовірності досягнення металевої конструкції відмови за встановлений термін служби T_{ef} .

З метою визначення швидкості можливого досягнення конструкцією критичного стану від корозійних впливів (або імовірності досягнення граничного стану протягом часу експлуатації T_{ef}), рекомендовано застосовувати наступні показники оцінки якості [14].

1. Масовий K_m^\pm характеризує зміну маси зразка матеріалу в результаті корозії ($г/м^2 \times год$).

$$K_m^\pm = \frac{m_1 - m_2}{S\tau},$$

де m_1, m_2 – маса матеріалу відповідно до та після корозії, г; S – площа поверхні матеріалу, $м^2$; τ – час тривання корозії, год.

Зв'язок між додатним та від'ємним масовим показником

$$K_m^- = K_m^+ \frac{n_o - A_m}{n_m A_o},$$

де n_o, n_m – валентності окиснювача та металу відповідно; A_o, A_m – атомні маси окиснювача та металу відповідно.

2. Глибинний K_p дає змогу оцінити глибину корозійного руйнування металу ($мм/год$).

$$K_p = 8,76 \frac{m_1 - m_2}{\rho S \tau}.$$

Зв'язок між глибинним і масовим показником корозії:

$$K_p = 8,76 \frac{K_m^-}{\rho},$$

де ρ – густина металу $г/см^3$.

3. Об'ємний K_y . У разі корозії металу в кислотах швидкість корозії може бути визначена за кількістю виділеного водню ($см^3/см^2 \cdot год$.)

$$K_y = \frac{V 273(P - P_{H_2O})}{S\tau(273 + t)760}$$

P, P_{H_2O} – відповідно атмосферний тиск під час експериментів та тиск насиченої водяної пари при температурі вимірювання, мм рт. ст.; t – температура вимірювання, $^{\circ}C$; V – об'єм виділеного водню, $см^3$.

4. Зміна електричного опору K_R

$$K_R = \frac{R_k}{R_o},$$

де R_o та R_k – відповідно опір матеріалу до та після корозії.

Для врахування комбінації дій рекомендовано застосовувати метод аналізу ризику сіток Баєса [9]. Виникає певна проблема отримання статистичних даних про можливі відмови через високу вартість проведення випробувань як безпосередньо об'єктів, так і необхідності проведення випробувань контрольних зварних з'єднань, а також збору інформації протягом часу експлуатування конструкцій. Аналіз відмов здійснюється за результатами випробувань в випробувальних лабораторіях підприємств України.

Загальний вигляд теореми Байєса [9]:

$$P(A/B) = \{P(A)P(B/A)\} / \sum P(B/E_i)P(E_i) \quad (1)$$

де $P(X)$ – імовірність події X ; $P(X/Y)$ – імовірність події X ; E_i -і-та подія.

В самій простій формі теорему Байєса для двох видів впливу можна записати

$$P(A/B) = \{P(A)P(B/A)\} / \sum P(B) \quad (2)$$

Байєсовську статистику можна розглядати як ступінь довіри особи до виникнення певної події. Оскільки підхід Байєса базується на суб'єктивному тлумаченні імовірності, він забезпечує безпосередню основу для розглядання варіантів прийняття рішення і розроблення мереж Байєса.

Томас Байєс одним з перших зацікавився ймовірністю настання подій у майбутньому, ґрунтуючись на інформації про минулі випробування. Саме теорема Байєса пов'язує апіорні імовірності та апостеріорні ймовірності після спостереження за наслідками.

На відміну від інших методів інтелектуального аналізу даних, застосування байєсівських мереж до аналізу процесів різної природи, діяльності людини та функціонування технічних систем дозво-

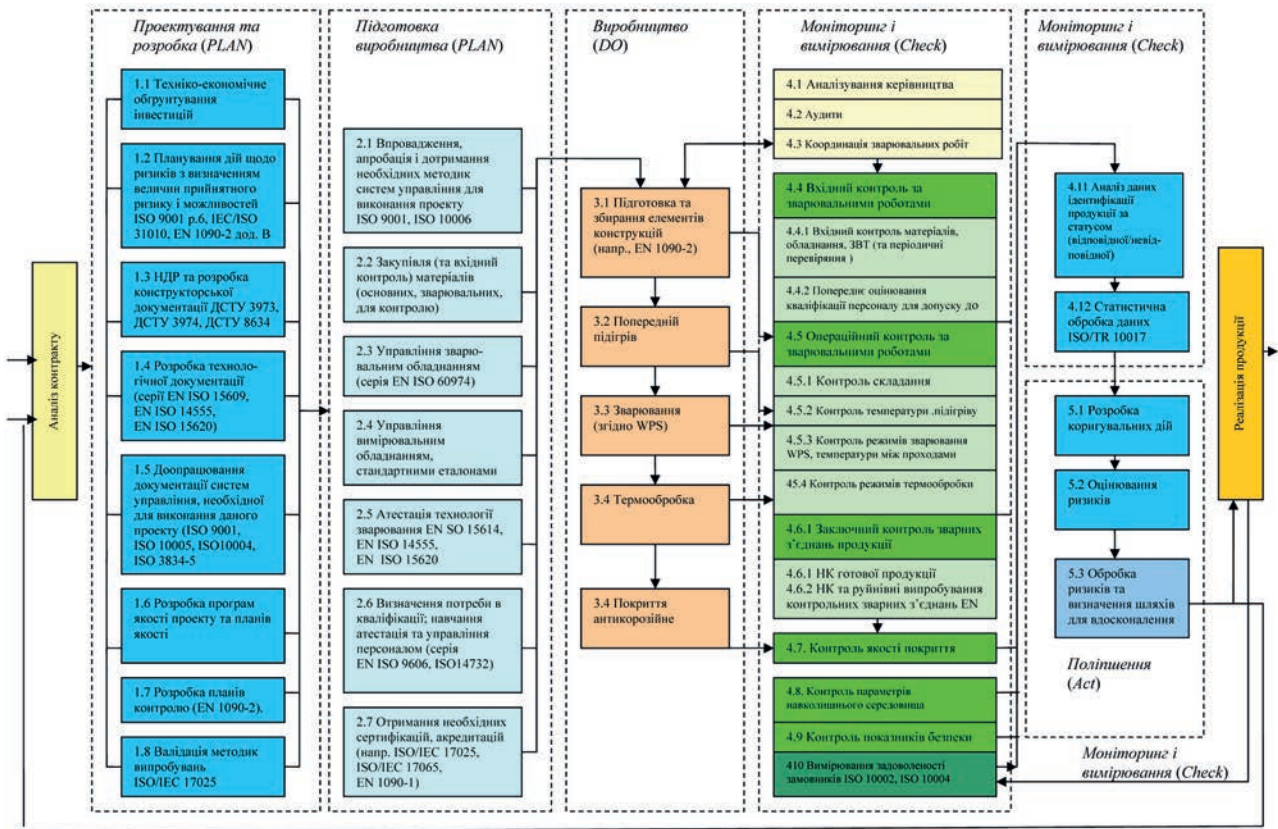


Рис. 3. Системний підхід до управління процесами зварювального виробництва

ляє враховувати та використовувати будь-які вхідні дані у вигляді експертних оцінок і статистичної інформації. У свою чергу, змінні можуть бути дискретними і безперервними, а характер їх надходження при аналізі та прийнятті рішення може бути в режимі реального часу і у вигляді статичних масивів інформації і баз даних [15].

Метод мереж Байєса передбачає використання графічної моделі для зображення низки змінних і їхніх імовірнісних зв'язків. Мережа складається з вузлів, які представляють випадкову змінну, і стрілок, які зв'язують родинний вузол з дочірнім вузлом (родинний вузол є змінною), яка безпосередньо впливає на іншу (дочірню змінну). Приклади етапів які необхідно виконати для побудови мережі Байєса такі:

- визначити змінні системи;
- визначити причинні зв'язки між змінними;
- установити умовні та апіорні імовірності (при цьому величина умовних ймовірностей може бути пов'язана з невизначеністю вимірювань методів НК і ТД, обмеженістю методів контролю, вибірковістю проведення контролю);

- додати доказове свідчення про мережі;
- актуалізувати довірчі рівні;
- виділити апостеріорні довірчі рівні.

У наведеному прикладі розглянуто побудову таблиці Байєса з метою визначення імовірності досягнення конструкцією граничного стану. Наприклад, згідно аналізу попередніх даних на вказаний тип конструкції імовірнісна довіра полягає в тому, що 99 % конструкцій не будуть мати відмову протягом часу експлуатації T_{ef} . В даному прикладі розглянемо граничний стан конструкції, який пов'язаний з утворенням недопустимих дефектів зварних з'єднань чи основного металу.

Застосовуючи правило Байєса добуток визначають множенням апіорних даних і імовірності. Апостеріорні дані визначають діленням значення окремого добутку на суму добутків. Аналіз показує, що позитивний результат випробувань вказує на те, що апіорне значення зросло з 1 до 9 %. Аналізування значення $(0,001 \times 0,98) / (0,01 \times 0,98) + (0,99 \times 0,1)$ показує, що немає перевищення граничного стану експлуатованого об'єкту, що в свою чергу має вагоме значення.

Таблиця 3. Таблиця апіорних і апостеріорних даних. Таблиця Байєса

	Апіорні дані	Імовірність	Добуток	Апостеріорні дані
Досягнув граничного стану протягом часу T_{ef}	0,01	0,98	0,0098	0,0901
Не досягнув граничного стану протягом часу T_{ef} (відповідає вимогам)	0,99	0,10	0,0990	0,909
Підсумок	1		0,108	1

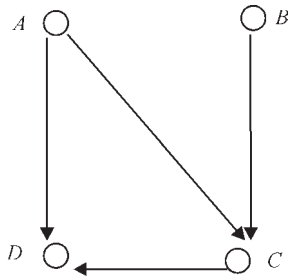


Рис. 4. Приклад сітки Байєса

Мережа Байєса, зображена на рис. 4.

Для умовних апіорних імовірностей, визначених в наведених нижче табл. 4–8 використано позначення: *Y* – позитивний та *N* – негативний. Позитивний елемент може бути визначено як «перевищив граничний стан» (*Y*), негативний – «як «не досягнув граничного стану» (*N*).

Для визначення апостеріорної імовірності $P(A|D = N, C = Y)$ необхідно попередньо вирахувати $P(A, B|D = N, C = Y)$.

Використовуючи правило Байєса, значення імовірності $P(D|A, C) \times P(C|A, B) \times P(A) \times P(B)$ необхідно визначити по формулі, як показано в таблиці 7, при цьому в останній графі показані нормалізовані імовірності, сума яких дорівнює 1, як отримано в попередньому прикладі (округлений результат).

Для отримання $P(A|D = N, C = Y)$ потрібно підсумувати всі значення стовпця *B*.

Мережі Байєса використовують для отримання апостеріорних розподілів. Графічні попередні уявлення вихідних даних забезпечують розуміння моделі, при цьому дані можуть бути змінені для дослідження кореляції і чутливості параметрів.

Перевагами методу є наступні:

- для використання методу досить знання апіорної інформації;
- логічно виведені затвердження нескладні для розуміння;
- застосування методу ґрунтується на формулі Байєса;
- метод надає собою спосіб використання суб'єктивних імовірнісних оцінок.

Недоліками методу є наступні:

- визначення всіх взаємодій в мережах Байєса для складних систем не завжди здійсненне;
- підхід Байєса вимагає знання безлічі умовних ймовірностей, які зазвичай отримують експертними методами. Застосування програмного забезпечення засноване на експертних оцінках.

На даний час запропоновані і інші теорії. Так в роботі [16] запропонована методика аналізування ризику при експлуатації трубопроводів та резервуарів.

Впровадження менеджменту ризиків і забезпечення результативності потребує сильної і стійкої форми прихильності з боку керівництва підприєм-

ства, а також стратегічного і детального планування для досягнення стійкої на всіх рівнях політики управління ризиками.

Керівництву необхідно:

- визначати і підписувати політику менеджменту ризиків;
- забезпечувати узгодженість культури підприємства і політики менеджменту ризиків;
- забезпечувати показники діяльності в області менеджменту ризику на зварювальному виробництві, які узгоджуються з показниками діяльності організації (див. рис. 1);
- узгоджувати цілі менеджменту ризиків з цілями і стратегіями організації;
- забезпечувати відповідність законодавчим та іншим обов'язковим вимогам;
- встановити відповідальність за результат і виконання на відповідних рівнях підприємства на основі НК і ТД;
- забезпечити виділення необхідних ресурсів для менеджменту ризику та НК і ТД;
- передавати інформацію про вигоди менеджменту ризику всім зацікавленим сторонам;
- забезпечувати постійну відповідність структури для впровадження менеджменту ризику та НК і ТД.

Таблиця 4. Апіорні імовірності для вузла А та В

P (A = Y)	P (A = N)	P (B = Y)	P (A = N)
0,9	0,1	0,6	0,4

Таблиця 5. Умовні імовірності для вузла С з визначеними вузлами А та В

A	B	P (C = Y)	P (C = N)
Y	Y	0,5	0,5
Y	N	0,9	0,1
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,7	0,3

Таблиця 6. Умовні імовірності для вузла D з визначеними вузлами А та С

A	B	P (D = Y)	P (D = N)
Y	Y	0,6	0,4
Y	N	1,0	0,0
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,6	0,4

Таблиця 7. Апостеріорна імовірність для вузлів А та В з визначеними вузлами D та C

A	B	$P(D A, C) \cdot P(C A, B) \cdot P(A) \cdot P(B)$ або $P(D = Y)$	$P(A, B B = N, C = Y)$ $P(D = N)$
Y	Y	$0,4 \times 0,5 \times 0,9 \times 0,6 = 0,110$	0,4
Y	N	$0,4 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,4 = 0,130$	0,48
N	Y	$0,8 \times 0,2 \times 0,1 \times 0,6 = 0,010$	0,04
N	N	$0,8 \times 0,7 \times 0,1 \times 0,4 = 0,022$	0,08

Таблиця 8. Апостеріорна імовірність для вузла А з вузлами D и C

$P(A = Y D = N, C = Y)$	$P(A = N D = N, C = Y)$
0,88	0,12

Висновки

Побудовано алгоритм виникнення ризику при експлуатації будівельної конструкції. Запропоновано процесний підхід з метою аналізу відхилення процесів проектування, виробництва та обслуговування.

Визначено показники граничних станів зварної конструкції від механічних дій та показники якості корозійних впливів. Підібрано розрахункові формули швидкості (імовірності) досягнення граничних станів від механічних дій. Для аналізування комбінації дій рекомендовано застосовувати метод сіток Байєса.

Встановлено, що одним з основних завдань системи менеджменту якості зварювального виробництва згідно ДСТУ ISO 9001:2015 є забезпечення виявлення потенційних невідповідностей в системі зварювального виробництва і попередження їх виявлення за допомогою менеджменту ризику. Відхилення процесів системи менеджменту є причинами утворення браку продукції, що випускається та виникнення ризику аварійної ситуації на виробництві.

Наведено приклад застосування мережі Байєса для розрахунку апостеріорної імовірності переходу конструкції в позаграничний стан на підставі апріорної імовірності протягом встановленого часу експлуатації та умовної імовірності, яка встановлюється на підставі попередніх статистичних оцінок, отриманих в результаті випробувань даного виду конструкції.

Успіх менеджменту ризиків буде залежати від результативності структури менеджменту. Структура допомагає впровадженню результативного менеджменту ризиків через впровадження процесів управління ризиками та НК і ТД на різних рівнях підприємства. Структура гарантує, що інформація про ризик, отримана в процесі менеджменту ризику, відповідним чином надається та використовується як основа для прийняття рішень щодо подальших модифікацій ризиків.

Список літератури

1. (2015) Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII «Про технічні регламенти та оцінку відповідності».
2. (2016) Постанова Кабінету міністрів України № 95 від 13 січня 2016 р. «Про затвердження модулів оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності, та правил використання модулів оцінки відповідності».
3. (2010) Закону України «Про загальну безпечність нехарчової продукції» від 02.12.2010, № 2736-VI.
4. Бондаренко Ю.К. Ковальчук О.В. (2017) Оцінка ризику експлуатації зварних конструкцій на підставі моніторингу процесів управління якістю і проведення випробувань методами НК і ТД. *Неруйнівний контроль та технічна діагностика*, **3**, 56–62.
5. Бондаренко Ю.К. Ковальчук О.В. (2018) Ідентифікація ризиків при виробництві зварних конструкцій для впровадження ризик-менеджменту на підприємстві. *Там само*, **3**, 47–57.

6. Бондаренко Ю.К. Ковальчук О.В. (2018) Анализ и исследование риск-менеджмента, влияющего на технологический процесс сварки на производстве с целью повышения живучести стальных конструкций по признакам опасности. *Сварщик*, **4**, 29–40.
7. ДСТУ ISO Guide 73:2013 (ISO Guide 73:2009) *Керування ризиком*. Словник термінів.
8. ДСТУ ISO 31000:2014 (ISO 31000:2009, IDT) Менеджмент ризиків. Принципи і керівні вказівки.
9. ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 (IEC/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику.
10. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник.
11. ДСТУ 3974-2000 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення.
12. ДСТУ 8634:2016 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Настанови щодо розроблення та поставлення на виробництво нехарчової продукції
13. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. Надано чинності 01.01.2019.
14. Маньковська Е., Скоропад П., Семенистий А. (2010) Корозійна стійкість металевих аморфних стовпів та метрологічна надійність термоперетворювачів на їх основі. *Вимірвальна техніка та метрологія*, **71**, 98–102.
15. Інтернет-ресурс: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/6607/1/19.pdf>
16. Бідюк П.І., Терентьев О.М., Коновалюк М.М. (2010) Байєсівські мережі в технологіях інтелектуального аналізу даних. *Искусственный интеллект*, **2**, 104–113.
17. Тороп В.М. (2005) Імовірносний ризик-аналіз експлуатації трубопровідних систем резервуарів та посудин тиску. Повідомлення 2. Метод оцінки функціональної придатності елементів конструкції за обмеженими статистичними даними. *Проблеми прочності*, **3**, 96–103.

References

1. (2015) Law of Ukraine of 15.01.2015, No. 124-VIII: On technical regulations and conformity assessment [in Ukrainian].
2. (2016) Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 95 of January 2016: About approval of the modules of conformity assessment used for development of the procedures for conformity assessment and rules for application of conformity assessment modules [in Ukrainian].
3. (2010) Law of Ukraine of 02.12.2010, No. 2736-VI: On general safety of non-food products [in Ukrainian].
4. Bondarenko, Yu.K., Kovalchuk, O.V. (2017) Evaluation of risk of welding structures service using monitoring of processes of the quality control system and testing using NT and TD methods. *Tekh. Diagnost. i Nerazruch. Kontrol*, **3**, 56–62 [in Ukrainian].
5. Bondarenko, Yu.K., Kovalchuk, O.V. (2018) Risk identification in fabrication of welded structures in order to introduce risk-management at the enterprise. *Ibid.*, **3**, 47–57 [in Ukrainian].
6. Bondarenko, Yu.K., Kovalchuk, O.V. (2018) Analysis and study of management of the risk affecting the technological process of welding in production, in order to increase the viability of steel structures by danger indicators. *Svarshchik*, **4**, 29–40 [in Russian].
7. DSTU ISO Guide 73:2013 (ISO Guide 73:2009): Risk management. Vocabulary.
8. DSTU ISO 31000:2014 (ISO 31000:2009, IDT): Risk management. Principles and guidelines.
9. DSTU IEC/ISO 31010:2013 (IEC/ISO 31010:2009, IDT): Risk management. Risk assessment techniques.
10. DSTU ISO 9001:2015: Quality management systems. Guidelines and vocabulary.
11. DSTU 3974-2000: System of product development and launching into manufacture. Procedures of experimental and design works. Basic principles [in Ukrainian].

12. DSTU 8634:2016: System of product development and launching into manufacture. Guidelines of inedible product development and launching into manufacture [in Ukrainian].
13. DBN V 1.2-14:2018: System of ensuring the reliability and safety of building objects. General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings and civil engineering works. Valid from 01.01.2019 [in Ukrainian].
14. Mankovska, E., Skoropad, P., Semenystyi, A. (2010) Corrosion resistance of metal amorphous columns and metrological reliability of temperature transducers on their base. *Vymiryvalna Tekhnika ta Metrologiya*, **71**, 98–102 [in Ukrainian].
15. <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/6607/1/19.pdf>
16. Bidyuk, P.I., Terentiev, O.M., Konovalyuk, M.M. (2010) Bayesian networks in the technologies of intelligent analysis of data. *Iskustvennyi Intellekt*, **2**, 104–113 [in Ukrainian].
17. Torop, V.M. (2005) Probabilistic risk-analysis of operation of pipeline systems of tanks and pressure vessels. Information 2: Method of assessment of serviceability of structural elements by limited statistical data. *Problemy Prochnosti*, **3**, 96–103 [in Ukrainian].

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF RISK SOURCES ON TECHNICAL SAFETY OF WELDED STRUCTURES IN OPERATION WITH APPLICATION OF NONDESTRUCTIVE TESTING AND TECHNICAL DIAGNOSTICS

Yu.K. Bondarenko, O.V. Kovalchuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, 11 Kazymyr Malevych, Kyiv, 03150. E-mail: office@paton.kiev.ua

In keeping with mandatory requirements of technical procedures to technical documents for critical products of welding fabrication, the technical documentation should allow assessment of product compliance with regulatory requirements and should include a description of performance and results of proper analysis and assessment of risk (risks). At present there is no reliable method for assessing the welded structure risk. The paper identifies the features of risk occurrence during the product life cycle. The algorithm of occurrence of components of risk in welded structure operation, which is the aggregate of both the risks connected with deviations of the processes of design, manufacture, and operation (in other words, those connected with the processes of product life cycle), and the risks associated with dangers, which arise from impacts on the structures and the probability of the structure operation outside its application limits. It is noted that the risk in operation is the probability that the structure will reach the limit state during the specified period of operation. The limit states are divided into two groups. The first group includes limit states, the transition through which leads to complete unsuitability of the object. The second group includes those that complicate the normal operation of the object or shorten its service life, compared to the specified term. During operation, the welded metal building structure is exposed, first of all, to mechanical and corrosion impacts. References to the theory and formulas are given that determine the probabilities of a metal structure failure. It is recommended to use the Bayesian formula to calculate the total value of operational risk. 17 Ref., 8 Tabl., 4 Fig.

Keywords: risk, operational risk, risk management, probability of danger occurrence, welded structure, technical safety

Надійшла до редакції 07.10. 2019

Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

XXIII МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ та МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

14–18 вересня 2020
Одеса, Аркадія, готель «Аркадія»

Генеральний спонсор
ПрАТ «УкрНДІНК»



ОРГАНІЗАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ
Міжнародна Асоціація «Зварювання»
вул. Казимира Малевича 11, м. Київ, 03150
тел. +38 (044) 200-82-77, (050) 352-73-50
journal@paton.kiev.ua
posypaiko.yurii@gmail.com
<http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2020>