

## БЕЗПЕКА СИСТЕМИ ПОДАЧІ ДУТТЯ В КОНВЕРТЕР

*Анотація. Розглянуто послідовність аналізу ризику на промислових об'єктах. На прикладі системи подачі дуття в кисневий конвертер побудовано дерево відмов для одного з факторів – знос сопел кисневої фурми та визначені показники безпеки.*

*Ключові слова: технічна безпека, конвертер, система подачі дуття, фурма, індекс безпеки, строк служби.*

Технічний рівень країни оцінюється, перш за все, згідно з виробництвом металургійної продукції – чавуну, сталі, прокату. Якість і обсяг виробництва металургійної продукції визначають розвиток усіх галузей країни – машинобудування, транспортної та хімічної промисловості, верстатобудування, енергетики та ін. Також важливим критерієм стану науки і виробництва в країні є рівень безпеки на підприємствах.

У теперішній час у конверторному виробництві різко зростає швидкість плавок та разом з цим і знос обладнання цехів. Наслідком жорсткості умов роботи устаткування є зменшення терміну служби вузлів і деталей і збільшення числа аварійних поломок, що приводять до простоїв.

Система подачі дуття є одною з найважливіших систем конверторного цеху, від її стана залежить якість продукції, термін служби самого конвертора, аварійна небезпека виробництва. Це у свою чергу змушує підходити до розгляду з точки зору показника безпеки усього процесу загалом.

Основними проблемами при оцінці ризику експлуатації системи подачі дуття є неможливість визначення гарантованого строку служби елементів її конструкції, внаслідок різноманітних деградаційних процесів, що протикають під час експлуатації системи [1].

### **Аналіз ризику на небезпечних промислових об'єктах.**

Аналіз ризику аварій на небезпечних виробничих об'єктах є складовою частиною управління промисловою безпекою. Аналіз ризику полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і оцінки ризику можливих небажаних подій. Результати аналізу ризику використовуються при декларуванні промислової безпеки небезпечних виробничих об'єктів, експертизі промислової безпеки, обґрунтуванні технічних рішень по забезпеченню безпеки, страхуванні, економічному аналізі безпеки по критеріях "вартість - безпека - вигода", оцінці дії господарської діяльності на природне довкілля і при інших процедурах, пов'язаних з аналізом безпеки [2].

Основні завдання аналізу ризику аварій на небезпечних виробничих об'єктах полягають в представленні особам, що приймають рішення:

- об'єктивній інформації про стан промислової безпеки об'єкту;
- відомостей про найбільш небезпечні, "слабкі" місця з точки зору безпеки;
- обґрунтованих рекомендацій по зменшенню ризику.

Процес проведення аналізу ризику включає наступні основні етапи:

- планування і організація робіт;
- ідентифікація небезпек;
- оцінка ризику;
- розробка рекомендацій по зменшенню ризику.

На етапі планування робіт слід:

- визначити аналізований небезпечний виробничий об'єкт і дати його загальний опис;
- описати причини і проблеми, які викликали необхідність проведення аналізу ризику;
- підібрати групу виконавців для проведення аналізу ризику;
- визначити і описати джерела інформації про небезпечний виробничий об'єкт;
- вказати обмеження вихідних даних, фінансових ресурсів і інші обставини, що визначають глибину, повноту і детальність аналізу ризику, що проводиться;

- чітко визначити цілі і завдання аналізу ризику, що проводиться;

- обґрунтувати використовувані методи аналізу ризику;
- визначити критерії прийнятного ризику.

Для забезпечення якості аналізу ризику слід використовувати знання закономірностей виникнення і розвитку аварій на небезпечних виробничих об'єктах. Якщо існують результати аналізу ризику для подібного небезпечного виробничого об'єкту або аналогічних технічних пристроїв, вживаних на небезпечному виробничому об'єкті, то їх можна застосовувати як вихідну інформацію. Проте при цьому слід показати, що об'єкти і процеси подібні, а наявні відмінності не вноситимуть значних змін до результатів аналізу.

Цілі і завдання аналізу ризику можуть розрізнятися і конкретизуватися на різних етапах життєвого циклу небезпечного виробничого циклу.

На етапі розміщення (обґрунтування інвестицій або проведенні передпроектних робіт) або проектування небезпечного виробничого об'єкту метою аналізу ризику, як правило, є:

- виявлення небезпек і апріорна кількісна оцінка ризику з врахуванням дії уражуючих чинників аварії на персонал, населення, майно і природне довкілля;

- забезпечення обліку результатів при аналізі прийнятності запропонованих рішень і виборі оптимальних варіантів розміщення небезпечного виробничого об'єкту, вживаних технічних пристроїв, будівель і споруджень небезпечного виробничого об'єкту з врахуванням особливостей навколишньої місцевості, розташування інших об'єктів і економічної ефективності;

- забезпечення інформацією для розробки інструкцій, технологічного регламенту і планів ліквідації (локалізації) аварійних ситуацій на небезпечному виробничому об'єкті;

- оцінка альтернативних пропозицій по розміщенню небезпечного виробничого об'єкту або технічним рішенням.

На етапі експлуатації або реконструкції небезпечного виробничого об'єкту метою аналізу ризику може бути:

- перевірка відповідності умов експлуатації вимогам промислової безпеки;

- уточнення інформації про основні небезпеки і ризики (у тому числі при декларуванні промислової безпеки);

- розробка рекомендацій по організації діяльності наглядових органів;

- вдосконалення інструкцій з експлуатації і технічного обслуговування, планів ліквідації (локалізації) аварійних ситуацій на небезпечному виробничому об'єкті;

- оцінка ефекту зміни в організаційних структурах, прийомах практичної роботи і технічного обслуговування відносно вдосконалення системи управління промисловою безпекою.

Основні завдання етапу ідентифікації небезпек - виявлення і чіткий опис всіх джерел небезпек і путей (сценаріїв) їх реалізації. Це відповідальний етап аналізу, оскільки не виявлені на цьому етапі небезпеки не піддаються подальшому розгляду і зникають з поля зору. При ідентифікації слід визначити, які елементи, технічні пристрої, технологічні блоки або процеси в технологічній системі вимагають серйознішого аналізу і які представляють менший інтерес з точки зору безпеки.

Результатом ідентифікації небезпек є:

- перелік небажаних подій;

- опис джерел небезпеки, чинників ризику, умов виникнення і розвитку небажаних подій (наприклад, сценаріїв можливих аварій);

- попередні оцінки небезпеки і ризику.

Оцінка наслідків включає аналіз можливих дій на людей, майно і природне довкілля. Для оцінки наслідків необхідно оцінити фізичні ефекти небажаних подій (відмови, руйнування технічних пристроїв, будівель, споруд, пожежі, вибухи, викиди токсичних речовин і так далі), уточнити об'єкти, які можуть бути піддані небезпеці. При аналізі наслідків аварій необхідно використовувати моделі аварійних процесів і критерії поразки, руйнування об'єктів дії, що вивчаються, враховувати обмеження вживаних моделей. Слід також враховувати і, по можливості, виявити зв'язок масштабів наслідків з частотою їх виникнення.

Узагальнена оцінка ризику (або міра ризику) аварій повинна відображати стан промислової безпеки з врахуванням показників ризику від всіх небажаних подій, які можуть статися на небезпечному виробничому об'єкті, і ґрунтуватися на результатах:

- інтеграції показників ризику всіх небажаних подій (сценаріїв аварій) з врахуванням їх взаємного впливу;
- аналізу невизначеності і точності отриманих результатів;
- аналізу відповідності умов експлуатації вимогам промислової безпеки і критеріям прийняттого ризику.

При узагальненні оцінок ризику слід, по можливості, проаналізувати невизначеність і точність отриманих результатів. Є багато невизначеностей, пов'язаних з оцінкою ризику. Як правило, основними джерелами невизначеностей є неповнота інформації по надійності устаткування і людським помилкам, припущення, що приймаються, і допущення використовуваних моделей аварійного процесу. Щоб правильно інтерпретувати результати оцінки ризику, необхідно розуміти характер невизначеностей і їх причини. Джерела невизначеності слід ідентифікувати (наприклад, "людський чинник"), оцінити і представити в результатах.

Розробка рекомендацій по зменшенню ризику є завершальним етапом аналізу ризику. У рекомендаціях представляються обґрунтовані заходи по зменшенню ризику, що ґрунтуються на результатах оцінок ризику. Заходи по зменшенню ризику можуть мати технічний і (або) організаційний характер. У виборі типа міри вирішальне значення має загальна оцінка дієвості і надійності заходів, що роблять вплив на ризик, а також розмір витрат на їх реалізацію.

При розробці заходів по зменшенню ризику необхідно враховувати, що унаслідок можливої обмеженості ресурсів в першу чергу повинні розроблятися прості і пов'язані з найменшими витратами рекомендації, а також заходи на перспективу. В більшості випадків першочерговими заходами забезпечення безпеки, як правило, є заходи запобігання аварії. Вибір планованих для впровадження заходів безпеки має наступні пріоритети:

- заходи зменшення вірогідності виникнення аварійної ситуації, що включають:
  - заходи зменшення вірогідності виникнення інциденту;
  - заходи зменшення вірогідності переростання інциденту в аварійну ситуацію;
  - заходи зменшення важкості наслідків аварії, які, у свою чергу, мають наступні пріоритети:

а) заходи, що передбачаються при проектуванні небезпечного об'єкту (наприклад, вибір конструкцій, що несуть, замочної арматури);

б) заходи, що відносяться до систем протиаварійного захисту і контролю (наприклад, вживання газоаналізаторів);

в) заходи, що стосуються готовності експлуатуючої організації до локалізації і ліквідації наслідків аварій.

Для визначення пріоритетності виконання заходів по зменшенню ризику в умовах заданих засобів або обмеженості ресурсів слід:

– визначити сукупність заходів, які можуть бути реалізовані при заданих об'ємах фінансування;

– ранжувати ці заходи по показнику "ефективність - витрати".

#### **Оцінка технічного стану небезпечних промислових об'єктів.**

Для оцінки технічного стану небезпечних промислових об'єктів застосовують оперативні показники ризику  $\rho$  і безпеки  $R_p$  [3, 4]:

$$\rho = 1 - R_p. \quad (1)$$

Вони також визначаються за допомогою імовірності безвідмовної роботи:

$$\rho = R^{-1} - 1. \quad (2)$$

У область практично цікавих рівнянь надійності, порядку 0.001 - 0.05, коли потрібно приймати рішення про продовження або припинення експлуатації об'єкту, для визначення ризику з помилкою не більше 5% можна використовувати формулу:

$$\rho = 1 - R. \quad (3)$$

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи може характеризувати як надійність, так і безпеку технічних систем.

З допомогою вірогіднісно-фізичних методів дослідження, можна провести аналіз надійності окремих структурних елементів технічної системи, що економніше, ніж її відробіток в цілому. Окрім цього, з'являється більше інформації про слабкі ланки системи.

Обчислення індексу безпеки для систем  $\beta\Sigma$  засноване на його зв'язку з ушкодженням, що відбивають поточний ризик експлуатації.

Враховуючи, що гарантований запас довговічності зворотно пропорційн гарантованому ушкодженню  $n_{Np} = a_p^{-1}$ , а індекс безпеки - його логарифм, то маємо:

$$\beta_p = -\lg a_p \text{ або } a_p = 10^{-\beta_p} .$$

$$\beta_{\Sigma p} = \lg \left( \sum U_{ij} \cdot 10^{-\beta_{ijp}} \right)^{-1} , \quad (4)$$

де  $\beta_{ijp}$  – індекс безпеки  $i$  – го елемента для  $j$  – го процесу, що ушкоджує, отримані по функції розподіли ресурсу й наробітку для ймовірності  $P$ ;

$U_{ij}$  – рівень значимості обумовлений через відносну критичність відмови елемента системи.

#### **Аналіз відмов системи подачі дуття в конвертер.**

Проаналізувавши можливі причини виникнення аварійних ситуацій на ділянці конверторів можна виділити декілька причин пов'язаних з станом конструктивних елементів системи подачі дуття, такі як:

- Знос сопел наконечника фурми;
- Стан зварних з'єднань фурми;
- Стан елементів системи подачі охолоджувальної води;
- Стан виконуючих механізмів (лебідка вертикального переміщення фурми, механізм подачі фурми);
- Стан системи подачі кисню.

Постійно виникаючим фактором відмов системи подачі дуття в конвертер є знос сопел фурми, тому цьому параметру потрібно приділяти велику увагу. Інші фактори мають епізодичну природу і важко піддаються прогнозуванню. Для фактору зносу сопел фурми можна розробити дерево можливого розвитку аварійної ситуації в конверторному цеху (рис. 1).

Термін служби наконечників кисневих фурм для продувки конвертера обумовлений двома процесами, що ушкоджують: а) ростом наскрізної тріщини, що веде до витоків охолоджувальної води; б) розпалом сопла, що знижує ефективність плавки.

За результатами аналізу відмов (44 випадків за рік) апостеріорно були отримані фактичні функції розподілу довговічностей, які вимірялися числом плавок:

$$\left. \begin{aligned} \lg T_{cp} &= 2.27 \cdot (1 \pm u_p \cdot 0.126) - \text{для тріщин,} \\ \lg T_{wp} &= 2.78 \cdot (1 \pm u_p \cdot 0.047) - \text{для розпалу.} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Згідно процедури «дерева відмов» (рис. 1) при розвитку ушкоджень збиток від аварій, внаслідок наскрізних тріщин був оцінений в 256 плавок, а збиток від розпаду сопел в 54 плавки. Тоді відносна вага збитку складе  $\pi_c=0,83$ ,  $\pi_w=0,17$ . Кількість видів відмов розподілилися нарівно  $c_s=c_w=0,5$ .



Рисунок 1 - Дерево можливого сценарію розвитку аварійної ситуації в конверторі

До початку експлуатації фурми з новим наконечником вихідні індекси безпеки становлять  $\beta_{c98}=1,69$ ,  $\beta_{w98}=2,52$ , що дає:

$$\beta_{\Sigma 98} = \lg(0.5 \cdot 0.17 \cdot 10^{-2.52} + 0.5 \cdot 0.83 \cdot 10^{-1.69}) = 2.06.$$

Відмітимо, що при  $U_{\Sigma}=U_w=1$   $\beta_{\Sigma 98}=1.63$ , який менше, ніж частки  $\beta_{c98}$  і  $\beta_{w98}$ . Таким чином, з рівнем безпеки  $R=0,98$  строк експлуатації наконечників даної конструкції становить  $102,06=115$  плавок.



### **Висновок**

Аналіз методів оцінки надійності складної технічної системи показав, що її некоректно здійснювати по показниках надійності окремих елементів або процесів, що ушкоджують. Ризик і безпеку механічної системи можливо оцінити за частними показниками ризику її елементів. Для цієї мети приведена відповідна методика, що оперує як ризиком, так і індексом безпеки, для системи подачі дуття в конвертер на прикладі такого фактору, як знос сопел фурми.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. / А.Я. Жук, Г.П. Малышев, Н.К. Желябина, О.М. Клевцов – Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2008. – 500 с.
2. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. Изд. 2-е. – СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2006, – 530 с.
3. Белодеденко С. В. Прогнозирование технического состояния и обеспечение безопасности при эксплуатации механических систем в металлургии/ С. В. Белодеденко, В. И. Гануш, С. В. Филипченков, А. В. Попов // Вибрации машин: измерение, снижение, защита.- 2011.- №1.- С. 15 - 22.
4. Білодіденко С. В. Основи технічного обслуговування механічних систем за контролем безпеки/ С. В. Білодіденко, Г. М. Біліченко, В. І. Гануш, А. В. Попов // Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту.- 2011. - спецвипуск, ч. 1.-С. 170-178.