

Г.Г.Грабовський, М.Г.Грудін, О.А.Хлобистова, кандидати технічних наук.
Г.Г.Грабовский, М.Г.Грудин, О.А.Хлобыстова, кандидаты технических наук.
G. Grabovsky, M. Grudin, O. Khobystova, candidates of technical science

Визначення рівня безпеки технологічного об'єкту

Подано класифікацію аварій, які можуть відбуватися на потенційно небезпечному технологічному об'єкті. Наведена блок-схема розвитку першопричини аварії зовнішнього характеру і запропоновані основні формули для підрахунку ризику виникнення аварій і збитків від цих аварій.

Ключові слова: потенційно небезпечний технологічний об'єкт, класифікація аварій, ризик виникнення аварій, збитки від аварій.

Определение уровня безопасности технологического объекта.

Приведена класифікація аварій, которые могут происходить на потенциально опасном технологическом объекте. Приведена блок-схема развития первопричины аварии внешнего характера и предложены основные формулы для расчета риска возникновения аварии и ущерба от этих аварий.

Ключевые слова: потенциально опасный технологический объект, классификация аварий, риск возникновения аварии, ущерб от аварий.

Determining the level of safety technology object

This is a classification of accidents that can occur on the potentially dangerous technological object. A block schema of development

the root causes of the accident and the nature of the external proposed general formula to calculate the risk of an accident and the damage from these accidents.

Keywords: potentially dangerous technological object, classification of accidents, the risk of an accident, the damage from accidents.

Ця робота присвячена методиці визначення оптимальних, або, принаймні, раціональних значень рівня безпеки потенційно небезпечного технологічного об'єкта (ТО).

Рівень безпеки, як і будь-якої іншої складової властивості об'єкту, завжди пов'язаний з певними витратами на досягнення необхідного рівня безпеки, а це, в свою чергу, залежить від збитків, які, внаслідок несприятливого розвитку подій на об'єкті, будуть завдані як самому об'єкту, так і навколишньому середовищу. Тому в першу чергу слід визначити, які саме надзвичайні ситуації(НС)* техногенного характеру можуть виникнути на об'єкті, що саме призведе до таких ситуацій, і які можливі наслідки і, відповідно, збитки від цих НС. При цьому слід брати до уваги такі чинники:

- наслідки НС не завжди мають грошовий еквівалент;
- наслідки НС можуть проявитися набагато пізніше, ніж відбулася сама НС.

Основні типи НС визначені в [1]. До НС техногенного характеру віднесено такі:

*Надзвичайна ситуація (НС) – будь-які потенційні чи фактичні зміни комбінацій умов та обставин життєдіяльності суспільства, які спричиняють людські жертви, матеріальні витрати та руйнування довкілля.

- транспортні аварії;
- пожежі та вибухи;
- аварії з викидом (загрозою викиду) сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), радіоактивних речовин (РР), біологічно небезпечних речовин (БНР);
- раптове руйнування споруд;
- аварії на об'єктах електроенергетики;
- аварії на комунальних системах життєзабезпечення;
- аварії на очисних спорудах;
- гідродінамічні аварії.

В [2] подано класифікацію рівнів НС, яка складається з 4-х класів: об'єктовий, місцевий, регіональний, державний. Згідно [2] збитки від кожного виду аварій поділяються на види за напрямками завданої шкоди таким чином:

- збитки від втрати життя та здоров'я населення;
- збитки від руйнування та пошкодження основних фондів, знищення майна та продукції;
- збитки від невироблення продукції внаслідок припинення виробництва;
- збитки від вилучення або порушення сільськогосподарських угідь;
- збитки тваринництва;
- збитки від втрати деревини та інших лісових ресурсів;
- збитки рибного господарства;
- збитки від знищення або погіршення якості рекреаційних зон;
- збитки, заподіяні природно-заповідному фонду;
- збитки від забруднення атмосферного повітря;
- збитки від забруднення поверхневих і підземних вод та джерел, внутрішніх морських вод і територіального моря;
- збитки від забруднення земель несільськогосподарського призначення.

Там же (в [2]) подана методика розрахунку кожного з видів збитків в залежності від типу збитків, обсягів поширення наслідків НС та інших чинників. Задача цієї роботи - запропонувати методику визначення ризику появи НС на конкретному ТО.

Перш за все треба визначити, які саме НС можливі на цьому об'єкті. Цей перелік складається на підставі:

- визначення СДОР, РР та БНР, які виробляються або використовуються в технологічному процесі;
- аналізу функціонування подібних технологічних об'єктів і вивчення процесу протікання та наслідків НС на них;
- дослідження особливостей місцевості, де розташований технологічний об'єкт. Зокрема, враховується наявність рекреаційних зон, заповідників, водоймищ, архітектурних пам'яток, тощо;
- чисельності населення, що мешкає в зоні впливу об'єкта.

Оскільки згідно [1] до НС техногенного характеру віднесено переважно різні види аварій, то в подальшому використовуватимемо саме цей термін.

Всі аварії, які в принципі можуть відбуватися на ТО, поділяються на два класи:

* Ми не розглядаємо той випадок, коли для мінімізації наслідків аварійної ситуації система захисту одразу переводить об'єкт в стан ліквідації підприємства.

- проектні, до яких відносяться такі, поява яких передбачена проектом технологічного об'єкту, і тому у проекті закладені засоби захисту від цих аварій;
- позапроектні, імовірність появи яких настільки незначна, що недоцільно створювати спеціальні системи захисту

В подальшому будемо розглядати тільки проектні аварії.

У відповідності з [3] в загальному випадку потенційно небезпечний ТО може знаходитись в одному з 4-х станів:

- нормальної експлуатації (НЕ);
- передаварійному стані (в умовах аварійної ситуації) (АС);
- в стані аварії (аварійному режимі) (АР);
- в режимі ліквідації наслідків аварії (ЛН).

Як правило, щодо кожної i -тої аварії можна визначити k_i початкових подій, з яких починається її розвиток. Початкові події можуть бути як зовнішнього характеру по відношенню до системи керування ТО (позначимо їх z_i) – явища природи, аварії на інших об'єктах, відмови технологічного обладнання, так і внутрішнього характеру (відповідно позначимо їх v_i) – деякі неприпустимі стани системи управління ТО, помилки персоналу, недостатнє забезпечення систем захисту необхідними засобами, тощо. Отже, $k_i = z_i + v_i$.

Слід відмітити принципову різницю між цими двома видами початкових подій аварій. Для початкових подій зовнішнього характеру існують пристрої розпізнавання (у складі системи захисту), і тому в разі появи такої початкової події система може мінімізувати наслідки її розвитку. В загальному випадку розвиток такої початкової події відбувається за такою схемою.

Першопричина НС змінює стан одного або декількох (в граничному випадку – усіх) елементів технологічного обладнання. Цей стан технологічного об'єкту визначається як передаварійний, або стан аварійної ситуації (АС).. Якщо об'єкт захищений, то спрацює система захисту, яка переводить об'єкт у стан, коли наслідки від розвитку першопричини НС будуть мінімальні. Цей стан умовно називають “зупинкою”, тому що у більшості випадків на час усунення першопричини аварійної ситуації ТО повністю або частково перестає функціонувати. Після цього проводяться відновлювані роботи, і ТО, як правило, переходить в режим НЕ.

Якщо система захисту не спрацювала, то ТО переходить в стан АС. Далі відбувається ліквідація аварійної ситуації. В залежності від виду аварії, або проводяться відновлювані роботи, і ТО повертається у стан НЕ, або проводяться роботи з ліквідації ТО. Таким чином, поведінку ТО можна відобразити за допомогою блок-схеми, наведеної на рис. 1

Для подальшого дослідження слід сформулювати декілька гіпотез, які справедливі для переважної більшості ПНП.

1. Оскільки аварія відноситься до числа виняткових подій, то можна вважати, що термін між двома аваріями набагато більший за суму $T_a + T_{Ba}$, де - T_a – середня тривалість протікання аварії, T_{Ba} - середня тривалість проведення відновлюваних робіт.

2. Водночас може відбуватися тільки одна аварія.

* Ми не розглядаємо той випадок, коли для мінімізації наслідків аварійної ситуації система захисту одразу переводить об'єкт в стан ліквідації підприємства.

3. Після ліквідації наслідків аварії ПНП повністю відновлюється або ліквідується як таке, що неможливо або недоцільно відновлювати.

4. Поява аварійної ситуації залежить тільки від стану обладнання ПНП або від зовнішніх чинників і не пов'язана з кількістю і видами тих аварій, які відбувалися в минулому.

Використання цих гіпотез дає можливість створити статистичну модель функціонування ПНП, за допомогою якої можуть бути визначені показники ризику для кожного виду аварій.

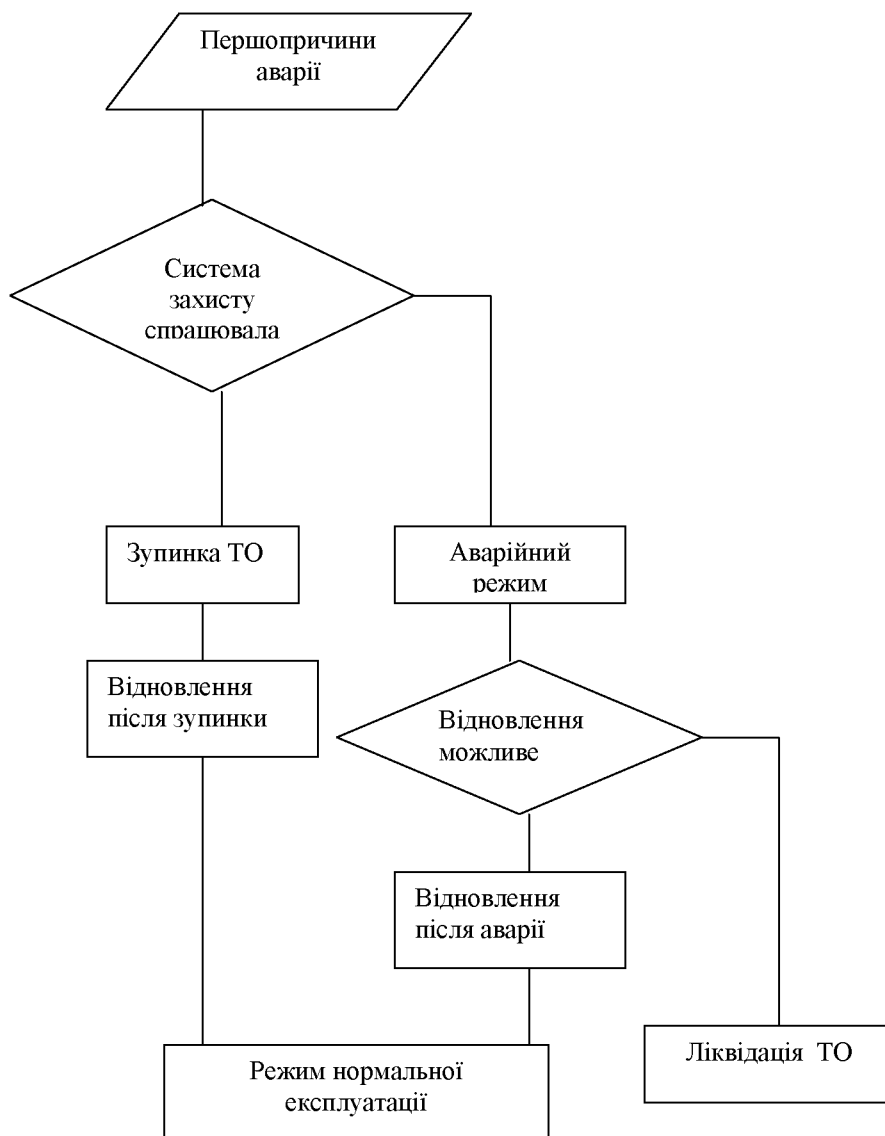


Рис. 1. Блок-схема розвитку першопричини аварії зовнішнього характеру.

Розглянемо деякий достатньо тривалий час функціонування потенційно небезпечного об'єкту, по відношенню до якого доцільно підраховувати ризик. В якості такого часу може бути використаний певний відрізок часу (рік, термін між двома сеансами планового технічного обслуговування, середня тривалість сезону

* Ми не розглядаємо той випадок, коли для мінімізації наслідків аварійної ситуації система захисту одразу переводить об'єкт в стан ліквідації підприємства.

переробки сировини або середній час функціонування промислового підприємства між двома капітальними ремонтами. Будемо вважати, що капітальний ремонт (якщо він в принципі можливий) повністю відновлює первісні можливості ТО. Позначимо цей відрізок часу H і будемо рахувати його в годинах.

Збитки від аварії на потенційно небезпечному підприємстві визначаються за такою формулою:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i * R_i$$

де n – кількість НС, які можуть виникнути на потенційно небезпечному підприємстві протягом H годин,

R_i - ризик виникнення i -тої НС на відрізку $(0, H)$,

Z_i - збитки від виникнення i -тої НС.

Оскільки, як було зазначено вище, збитки від аварії вираховуються за методикою, описаною в [2], зупинемось на підрахунку величини ризику.

Позначимо імовірність появи першопричини i -тої аварії на інтервалі $(0, H)$ через P_i . З імовірністю L_i система захисту виконає свої функції, ТО перейде в стан “зупинки”, і аварія не відбудеться. Отже, ризик виникнення i -тої аварії може бути визначений, як

$$R_i = P_i \cdot (1 - L_i).$$

Тоді ризик виникнення n аварій становитиме

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i \cdot (1 - L_i)).$$

Імовірність безвідмовної роботи технологічного обладнання за час H по відношенню до певного виду відмов, а саме тих, що призводять до аварії на об’єкті, може бути підрахована за існуючими методиками оцінки надійності. Ми не будемо детально зупинятися на деталях цих розрахунків, тільки вкажемо на відповідні роботи [5,6].

Аналогічно можна висловитися щодо другого – виду першопричин – відмов системи керування. Але тут треба зупинитися дещо детальніше. До уваги слід брати показник, який складається із двох показників:

- імовірність виникнення в системі j -тої аварійної ситуації на інтервалі часу $(0, H)$ в разі нормальних умов функціонування АСУ - $Q_2(H)$. Якщо в системі можливо виникнення f аварійних ситуацій (за умови, що такі аварійні ситуації виникають незалежно одна від одної і час між двома аварійними ситуаціями набагато перевищує час відновлення після чергової аварійної ситуації), то цей показник матиме вигляд:

$$Q_2 = 1 - \prod_{j=1}^f (1 - Q_j(H))$$

* Ми не розглядаємо той випадок, коли для мінімізації наслідків аварійної ситуації система захисту одразу переводить об’єкт в стан ліквідації підприємства.

- імовірність виникнення аварійної ситуації в разі впливу s-того екстремального чинника $Q_j \in \{\Phi_s\}$. У випадку, коли може бути u таких чинників, де $u > 1$, то слід скористатися формулою:

$$Q_2 = 1 - \prod_{s=1}^u (1 - Q_{2s}(H)).$$

Розглянемо процес зміну станів потенційно небезпечного підприємства за деякий достатньо великий час H . Для того, щоб визначити імовірність перебування ПНП в кожному із станів, треба скласти перелік обладнання, яке бере участь у формуванні НС, із визначенням станів цього обладнання, необхідних для переходу ПНП в стан АС. В загальному випадку процес протікання аварії може бути описаний таким чином. ПНП перебуває в режимі НЕ. Потім внаслідок відмов певних видів обладнання воно переходить в режим АС. В цей час починають діяти системи захисту. Якщо системи захисту спрацьовують, то ПНП повертається в режим НЕ, якщо не спрацьовують, то ПНП переходить в режим АР.

ПНП після аварії може бути відновлений, тобто переведений в стан НЕ. В протилежному випадку підприємство діквідується. Будемо вважати, що імовірність виникнення аварії під час проведення відновлюваних робіт, тобто імовірність появи вторинної аварії настільки незначна, що її можна не брати до уваги.

Таким чином, ризик появи аварії може бути визначений за формулою

$$R = \sum_{j=1}^4 R_j * V_j.$$

В кожному з цих режимів ризик виникнення аварії може бути підрахований за такими формулами:

$$\begin{aligned} R_1 &= V_{12} * (1 - Q), \\ R_2 &= 1 - Q, \\ R_3 &= 1, \\ R_4 &= 0, \end{aligned}$$

де V_{12} – імовірність переходу ПНП від стану НЕ в стан АС,

Q – імовірність вірного спрацьовування системи захисту.

Процес обчислення показників V_i та R_i найкраще пояснити за допомогою методу статистичного моделювання.

Для того, щоб визначити V_1, V_2, V_3, V_4 , треба промоделювати роботу ПНП протягом достатньо довгого часу існування підприємства T_k , де T_k – час до проведення капітального ремонту або до ліквідації підприємства.

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^r T_j}{T_k},$$

де r – кількість циклів моделювання,

T_j – час перебування ПНП в i -тому стані.

* Ми не розглядаємо той випадок, коли для мінімізації наслідків аварійної ситуації система захисту одразу переводить об'єкт в стан ліквідації підприємства.

Моделювання відбувається за такою схемою. Складається блок-схема виникнення аварії, до якої слід включити всі елементи, що беруть участь у формуванні аварії із визначенням станів елементів, перехід в які викликає появу аварійної ситуації.

Нехай ми промоделивали перебування ПНП в різних станах до капітального ремонту. За цей час відбулося r аварійних ситуацій, з яких в m ($m < r$) випадках спрацювала система захисту, і аварія не відбулася, а в решті випадків мала місце аварія, і тому відбувалася ліквідація наслідків аварії.

Нехай безпечність ПНП характеризується середнім наробітком на аварію $T_{ав}$. Оскільки аварія, як правило відноситься до виняткових подій, то можна припустити, що час що час до виникнення аварії розподілений за експоненціальним законом. Це означає, що ПНП перейде в стан аварійної ситуації за час t з імовірністю

$$V_{12} = V_{AC}(t) = 1 - \exp(-t / T_{ав}).$$

В стані аварійної ситуації починають спрацьовувати системи захисту. Функція захисту відноситься до дискретно-виконуваних функцій, і тому згідно [4] для опису її надійності використовується показник Q – імовірність вірного виконання функції в разі надходження запиту на спрацювання системи. Таким чином, із стану аварійної ситуації ПНП з імовірністю Q перейде в стан НЕ, а з імовірністю $1-Q$ ПНП перейде в стан АР, тобто матиме місце аварія. Далі з імовірністю 1 ПНП переходить в стан ліквідації наслідків аварії. В залежності від успішності виконуваних дій ПНП може повернутись до стану НЕ або перейти в стан ЛП.

Ризик виникнення аварії на ПНП за час t можна визначити за такою формулою

$$R_{ав} = (1 - \exp(-t/T_{ав})) * (1-Q),$$

де перший множник описує імовірність появи аварійної ситуації, а другий – імовірність неспрацювання системи захисту.

Література.

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1998 р. №1099 “Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій”.
2. Тимчасова методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2001 р. №
3. ДСТУ 2156-93 БЕЗПЕЧНІСТЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ. Терміни та визначення. Держстандарт України, 1994.
4. ГОСТ 24.701-86. ЕСС АСУ. Надежность АСУ. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
5. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10т. – М.: Машиностроение, 1990.
6. Б.Диллон, Ч.Сингх. Инженерные методы обеспечения надежности систем. – М.: «Мир», 1984, 317с.

/Стаття надрукована в журналі «Автоматизація виробничих процесів». – 2004. - №1(16).

* Ми не розглядаємо той випадок, коли для мінімізації наслідків аварійної ситуації система захисту одразу переводить об’єкт в стан ліквідації підприємства.