

УДК 007:681.518.5

ПАНКРАТОВА Н.Д., РАДЮК А.М.

## **ДО СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ І СИСТЕМ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ**

Наведено методологічний, математичний та алгоритмічний інструментарій щодо забезпечення оперативного технічного діагностування у динаміці ситуації ризику, можливості оперативного формування достатньо обгрунтованого рішення за відносно малий інтервал часу, практичної реалізації рішення щодо запобігання аварій і катастроф у динаміці позаштатного режиму в період експлуатації складного технічного об'єкту.

Methodological, mathematical and algorithmic tools for maintenance of operative technical diagnosing in dynamics of risks situations are presented. Opportunities of operative formation the enough proved decision for rather small interval of time, practical realization of the making decision of accident prevention in dynamics of a unnormal mode during operation of complex technical object are offered.

Практичну потребу створення якісно нових засобів і систем забезпечення неруйнівного контролю та технічної діагностики функціонування складних систем різної природи зумовлює необхідність достовірного і своєчасного передбачення, прогнозування і запобігання критичним, надзвичайним та іншим небажаним ситуаціям і впливам, що можуть призвести до позаштатного режиму, аварії, катастрофи, або суттєво вплинути на працездатність, живучість, безпеку, ефективність та інші властивості таких об'єктів. Актуальність проблеми підтверджує потужна низка розробок в указаному напрямку [1-4] та ін.

У практичній діяльності виразно виділяється тенденція широкого впровадження наукомістких виробництв і технологій, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність, поліпшити якість і розширити номенклатуру продукції, забезпечити більш високу ефективність виробництва. Для якісного поліпшення управління такими об'єктами слід пояснити причини і фактори, дія яких не дозволяє забезпечити необхідний рівень безпеки їх функціонування. Перелік таких причин в умовах високих темпів поновлення сучасної техніки і виробничих технологій може бути достатньо більшим, оскільки він формується не тільки загальними тенденціями розвитку техніки, але також і індивідуальними традиціями і помислами конкретних виробників продукції. Разом з тим, аналіз аварій і катастроф дозволяє виявити найбільш важливі причини і недоліки принципів управління безпекою сучасної техніки. Одна з таких причин полягає у специфіці функціонування систем діагностування, орієнтованих на виявлення відмов і несправностей. Такий підхід до забезпечення безпеки виключає можливість апріорного запобігання позаштатного режиму, і, як наслідок, з'являється можливість його подальшого переходу у аварію або катастрофу.

Метою цієї статті є розробка нових засобів і систем неруйнівного контролю та технічного діагностування, які забезпечать значне підвищення безпеки та живучості складних технічних об'єктів та систем під час експлуатації. Для досягнення цієї мети необхідно на основі розроблених концепції та стратегії управління безпекою техногенно та екологічно небезпечними об'єктами [5] розробити математичні моделі, алгоритми, інформаційні технології та програмне забезпечення системного діагностування небезпечних об'єктів в умовах неповноти, невизначеності, нечіткості вихідної інформації за обмеженості часу на формування та реалізацію рішень.

### **1. Базові принципи гарантованої безпеки**

Основою розв'язання проблеми забезпечення техногенної безпеки є принципи гарантованої безпеки, які визначають прийоми передбачення аварій і катастроф при функціонуванні технічних систем будь-якої природи і характеризують умови, за якими ці прийоми будуть реалізованими на практиці. Прогнозування ситуацій і факторів ризику є необхідним для своєчасного формування і реалізації рішення по відвертанню переходу позаштатної ситуації в критичну, надзвичайну, аварійну або катастрофічну ситуацію в процесі функціонування складних технічних систем. Уразливим місцем проблеми прогнозування є великий обсяг інформації, який характеризується кількістю варіантів діагностування технічної системи для виявлення нових ситуацій і факторів ризику. Однією із можливостей зменшення обсягу інформації є використання порогів чутливості позаштатних, критичних та надзвичайних ситуацій і відповідних їм факторів ризику [5, 6].

Розробки математичних моделей, алгоритмів, інформаційних технологій та програмного забезпечення системного діагностування небезпечних об'єктів необхідно проводити з урахуванням системного підходу до управління безпекою складних систем та об'єктів на основі системного управління складними об'єктами, сутність якого полягає у системно узгодженому оцінюванні і коригуванні параметрів працездатності і безпеки у процесі функціонування таких об'єктів. Управління безпекою складних технічних об'єктів базується на прийомах передбачення аварій і катастроф. В основу головної ідеї концепції покладено принцип своєчасного виявлення й усунення причин можливого переходу працездатного стану об'єкту в непрацездатний стан на основі системного аналізу багатофакторних ризиків позаштатних ситуацій, оцінювання ресурсів допустимого ризику різних режимів функціонування складного технічного об'єкту і прогнозування основних показників живучості об'єкту на протязі заданого періоду його експлуатації [7].

Тут поняття безпеки складної системи пов'язано з її здатністю своєчасно запобігати послідовний перехід із штатного режиму системи в аварію або катастрофу на основі своєчасного виявлення факторів суттєвого ризику і усунення можливості їх перетворення у фактори катастрофічного ризику. Під живучістю об'єкта розуміється спроможність складної системи зберігати штатний режим функціонування і виключати можливість аварії або катастрофи в умовах, що прогножуються і не прогножуються, впливу дестабілізуючих, неруйнівних факторів ризику.

Виникає практична необхідність якісної зміни принципів і структури управління працездатністю і безпекою сучасних складних технічних систем в реальних умовах впливу багатофакторних ризиків. Управління складними об'єктами повинно бути системним, тобто необхідна системна узгодженість управління працездатністю і управління безпекою не тільки за відповідними цілями, задачами, ресурсами і очікуємими результатами, але і, що особливо важливо, за оперативності і результативності взаємодії в реальних умовах функціонування складної системи.

## 2. Математична постановка задачі системного управління

Приведемо математичну постановку задачі системного управління при апріорно заданих інтервалах зміни основних показників системи у штатному режимі її функціонування і визначених допустимих межах зміни факторів зовнішнього впливу.

**Відомо**, що функціонування системи характеризується такою послідовністю станів складної системи  $E_1, E_2, \dots, E_k, \dots$ , в якій кожний стан  $E_k$  характеризується визначеними показниками процесів функціонування системи  $(Y_k, X_k, U_k)$  і визначеними показниками впливу зовнішнього середовища  $\Xi_k$  і факторів ризику:

$$E_k = \{(Y_k \in Y) \wedge (X_k \in X) \wedge (U_k \in U) \wedge (\Xi_k \in \Xi)\},$$

де значення показників у момент  $T_k \in T^\pm$  визначаються співвідношеннями:

$$Y_k = Y[T_k], X_k = X[T_k], U_k = U[T_k], \Xi_k = \Xi[T_k],$$

$$T_k = \{t_k | t_k > t_{k-1}\}, T_k \in T^\pm, T_0 = \{t | t_0 = t^-\}, T^\pm = \{t | t^- \leq t \leq t^+\},$$

$$Y = (Y_i | i = \overline{1, m}), X = (X_j | j = \overline{1, n}), U = (U_q | q = \overline{1, Q}), \Xi = (\Xi_p | p = \overline{1, P}).$$

Тут  $Y$  – множина зовнішніх параметрів  $Y_i$ , яка містить технічні, економічні та інші показники якості функціонування системи,  $X$  – множина внутрішніх параметрів  $X_j$ , у склад якої входять конструктивні, технологічні та інші показники,  $U$  – множина керуючих параметрів  $U_q$ ,  $\Xi$  – множина параметрів впливу зовнішнього середовища  $\Xi_p$  і факторів ризику.  $Y[T_k], X[T_k], U[T_k], \Xi[T_k]$  – множини значень відповідних параметрів у момент часу  $T_k$ ,  $T^\pm$  – заданий або той, що можна прогнозувати період функціонування складного об'єкта.

**Потрібно** визначити у момент  $T_i \in T^\pm$  такі значення ступеня  $\eta_i$  і рівня  $W_i$  ризику, а також ресурсу допустимого ризику  $T_{ar}$ , які забезпечать за позаштатного режиму можливість переходу з режиму  $\widetilde{R}_{tr}^+$  за період  $\check{T}_{tr}^\pm$  у штатний режим до настання критичного моменту переходу позаштатного режиму  $T_{cr}$  в аварію або катастрофу. Тут режим  $\widetilde{R}_{tr}^+$  представляє собою керований режим функціонування, який обумовлений керуючим впливом  $U_{tr}$  системи управління безпекою і який впродовж періоду  $\check{T}_{tr}^\pm$  призводить до перетворення позаштатного режиму  $R_{os}$  у штатний режим  $R_{sd}$ . Режим  $\widetilde{R}_{tr}^+$  характеризується функціоналом:

$$\widetilde{R}_{tr}^+ : R_{os} \xrightarrow{U_{tr}} R_{sd},$$

який визначає процес перетворення позаштатного режиму  $R_{os}$  у штатний режим  $R_{sd}$  під дією системи управління  $U_{tr}$ .

Основною властивістю системи є працездатність, яка характеризується заданими показниками якості, що визначаються множиною  $Y$ . Безпека характеризується наступними показниками: ступенем  $\eta_i$  і рівнем  $W_i$  ризику; ресурсом  $T_{ar}$  допустимого ризику позаштатного режиму; ресурсом допустимого ризику аварії  $T_{as}$  або катастрофи  $T_{ds}$ .

### 3. Алгоритми системного управління працездатністю і безпекою складних систем

Формалізацію задачі системного управління працездатністю і безпекою складних систем наведено у вигляді алгоритму системного управління працездатністю і безпекою складних об'єктів в умовах багатofакторних ризиків у позаштатних ситуаціях на рис. 1. В даній схемі блоками 3.0 і 5.0 реалізуються процедури діагностування й оцінювання позаштатних ситуацій у процесі переходу штатного режиму функціонування складної системи у послідовність позаштатних ситуацій. З використанням результатів цих процедур виконується формування бази даних і сценарію виникнення послідовності позаштатних ситуацій (блоки 4.0 і 6.0). Одержана інформація використовується для прийняття рішення про подальші дії (блок 7). В даному блоці визначається можливість переходу складного об'єкта із позаштатних ситуацій у штатний режим.

Аналізуються три варіанти: перехід можливий (варіант 1); перехід неможливий (варіант 2); інформації про позаштатні ситуації недостатньо для прийняття рішення (варіант 3). Якщо перехід у штатний режим можливий, то виконується процедура оцінювання ступеня і рівня живучості об'єкта (блок 8.1). Якщо перехід у штатний режим неможливий, то виконується процедура оцінювання ступеня і рівня ризику послідовності позаштатних ситуацій для об'єкта (блок 8.0). Якщо інформації про позаштатні ситуації недостатньо для прийняття рішення про можливість або неможливість переходу у штатний режим, то виконується процедура оцінювання ступеня і рівня безпеки об'єкта (блок 8.2). Подальші дії системи управління в умовах позаштатних ситуацій орієнтовано на виключення можливості аварії або катастрофи.

У варіанті 1 приймаються заходи для переходу позаштатних ситуацій у штатний режим на основі послідовного виконання процедур, що визначаються блоками від 9.1 до 2.1. з подальшим переходом до блоків 1, 2.2, 3.2. У варіанті 2 приймаються заходи для оцінювання ступеня і рівня ризику, ліміту часу на формування і реалізацію рішення про технологічну зупинку функціонування об'єкта на основі послідовного виконання процедур, що визначаються блоками 9.0, 10–12. У варіанті 3 приймаються заходи для оцінювання ступеня і рівня безпеки, ресурсу допустимого ризику, ліміту часу на формування і реалізацію рішення про технологічну зупинку функціонування об'єкта на основі послідовного виконання процедур, що визначаються блоками від 9.0, 8.2 до 4.2. Всі варіанти орієнтовано на запобігання аварії до моменту  $T_{кр}$ .

Поточна діагностична інформація формується у процесі функціонування складних об'єктів як у штатному режимі, так і в умовах позаштатних ситуацій. Діагностична інформація відображає стан технологічних процесів, технологічних механізмів і конструкцій, технічних засобів управління, процесів контролю працездатності і безпеки складних об'єктів. Результати діагностування використовуються у блоках 4.0, 5.0, 6.0, 6.1-3.1, 8.0 – 8.2 алгоритму управління безпекою складних об'єктів у позаштатних ситуаціях (рис. 1), забезпечуючи не тільки можливість аналізу процесів, що відбуваються, але і ресурсів допустимого ризику, ліміту часу на формування і реалізацію рішення про технологічну зупинку функціонування об'єкта. Дискретність вимірювань при діагностуванні може суттєво змінитися залежно від зміни позаштатних ситуацій. Метою такої зміни є, по-перше, скорочення часу на процедуру технологічної зупинки функціонування об'єкта і, по-друге, створення умов для її своєчасної реалізації до моменту  $T_{cr}$ .

Інформація, що отримана в процесі діагностування, є основою для прийняття рішень при коригуванні процесів їх функціонування у штатному режимі, при формуванні і прийнятті рішення для управління безпекою з метою запобігання аварій і катастроф.

Однак слід зазначити, що наявність вказаної інформації є необхідною, але недостатньою умовою для запобігання аварій і катастроф у позаштатних ситуаціях. Практичний досвід показує: позаштатні ситуації впродовж деякого періоду часу можуть перейти у аварії і катастрофи, якщо не будуть своєчасно прийняті відповідні заходи. Тому необхідно забезпечити такі характеристики системи управління, які будуть гарантувати своєчасний перехід позаштатної ситуації у штатну до критичного моменту  $T_{cr}$  або своєчасну технологічну зупинку функціонування об'єкта. Для цього необхідно на основі вказаної інформації забезпечити своєчасне рішення низки задач аналізу ризиків при управлінні працездатністю і безпекою складних об'єктів. Перелік цих задач представлений на схемі взаємозв'язків задач аналізу ризиків у процесі управління складними об'єктами (рис. 2). В даній схемі основну увагу зосереджено на конкретних цілях і задачах безпеки. Головними цілями є запобігання потенційно можливих аварійних і катастрофічних ситуацій до моменту  $T_{cr}$ , а головними задачами – вірогідне оцінювання і прогнозування основних показників безпеки в різних ситуаціях ризику і своєчасне формування, прийняття і реалізація рішень для досягнення цих цілей.

Для досягнення поставлених цілей водночас розв'язуються дві групи задач: аналізу ступеня і рівня ризику різних позаштатних ситуацій і аналізу ресурсу допустимого ризику. Первинними даними є результати рішення задач виявлення ознак позаштатної ситуації і розпізнавання ситуації ризику (блоки 1 і 2). Далі впливають задачі оцінювання категорії і зміни ризику (блоки 3.1 і 3.2), оцінювання ступеню і рівня ризику і ресурсу допустимого ризику (блоки 5.1 і 5.2; блоки 8.1 і 8.2), рангування за ступенем важливості і рівнем складності (блоки 10.1 і 10.2). По завершенню розв'язуються: задача рангування варіантів рішень щодо ризику і можливостей реалізації і задача розробки рекомендацій для ОПР (блоки 11, 12). Останні задачі (блоки 4, 6, 7, 9) використовуються в якості “опорних точок”, в яких синтезуються і узагальнюються результати перелічених вище задач.

Послідовне залучення наведених алгоритмів надає можливість проводити процес діагностування складної системи, що функціонує в умовах невизначеностей та ризику, в реальному режимі часу.

### **Висновки**

1. Методологічний та математичний інструментарій, що пропонується, призначено для забезпечення оперативного технічного діагностування у динаміці ситуації ризику, можливості оперативного формування достатньо обгрунтованого рішення за відносно малий інтервал часу, практичної реалізації рішення щодо запобігання аварій і катастроф у динаміці позаштатного режиму у період експлуатації складного технічного об'єкту.

2. Практичну реалізацію стратегії системного забезпечення гарантованої безпеки складних технічних об'єктів доцільно здійснювати на всіх етапах життєвого циклу виробу у вигляді послідовності сформульованих системно узгоджених процедур.

3. Розроблено алгоритми системного управління працездатністю і безпекою у динаміці функціонування складних технічних систем з урахуванням порогів чутливості множини ситуацій, що визначаються умовами, при яких множини ситуацій залишаються незмінними при зміні значень набору ознак у різні моменти часу діагностування технічної системи. Результатом виконання алгоритму є вкладена послідовність позаштатних, критичних або надзвичайних ситуацій, які виникають у динаміці функціонування складної технічної системи.

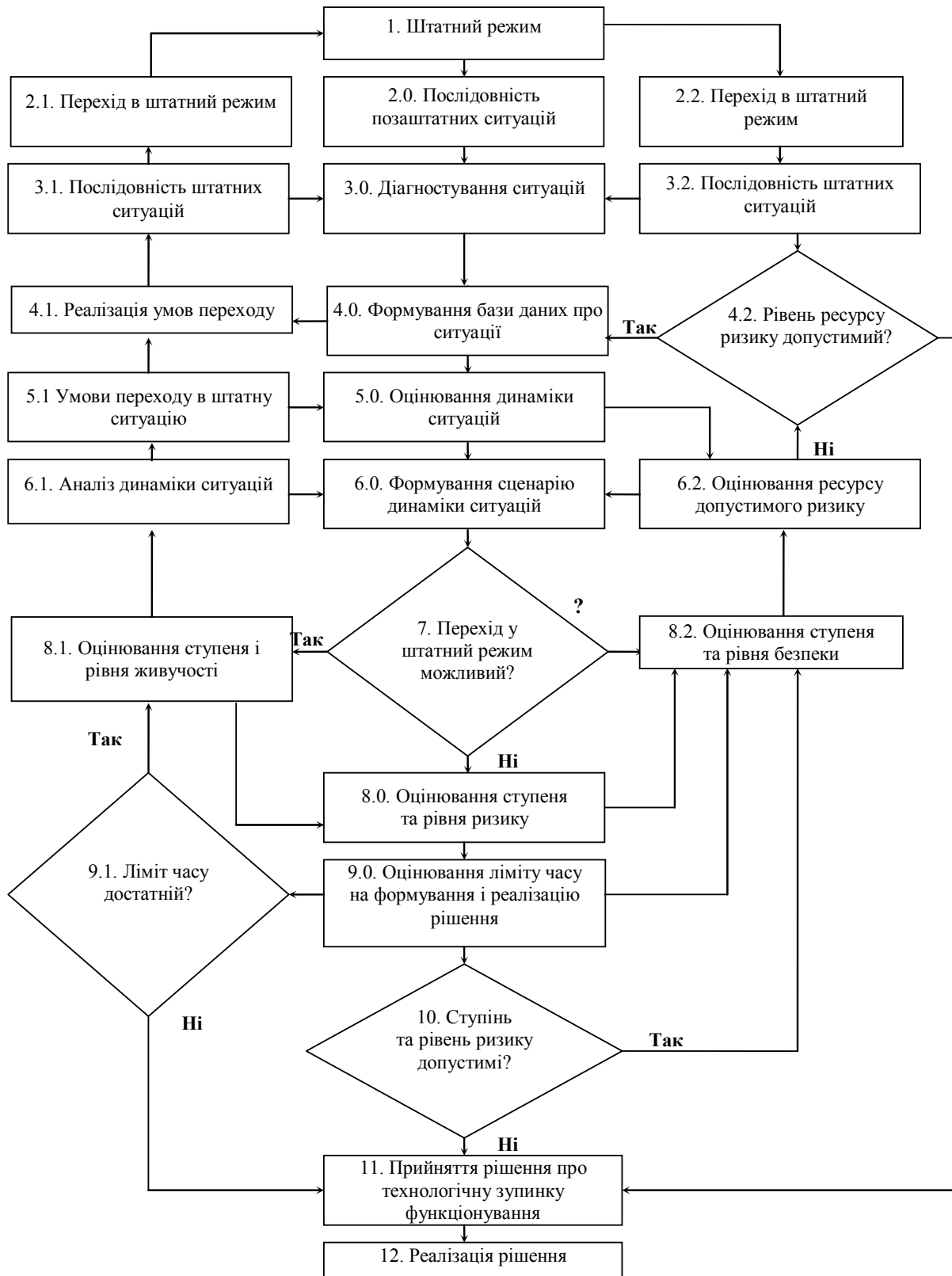
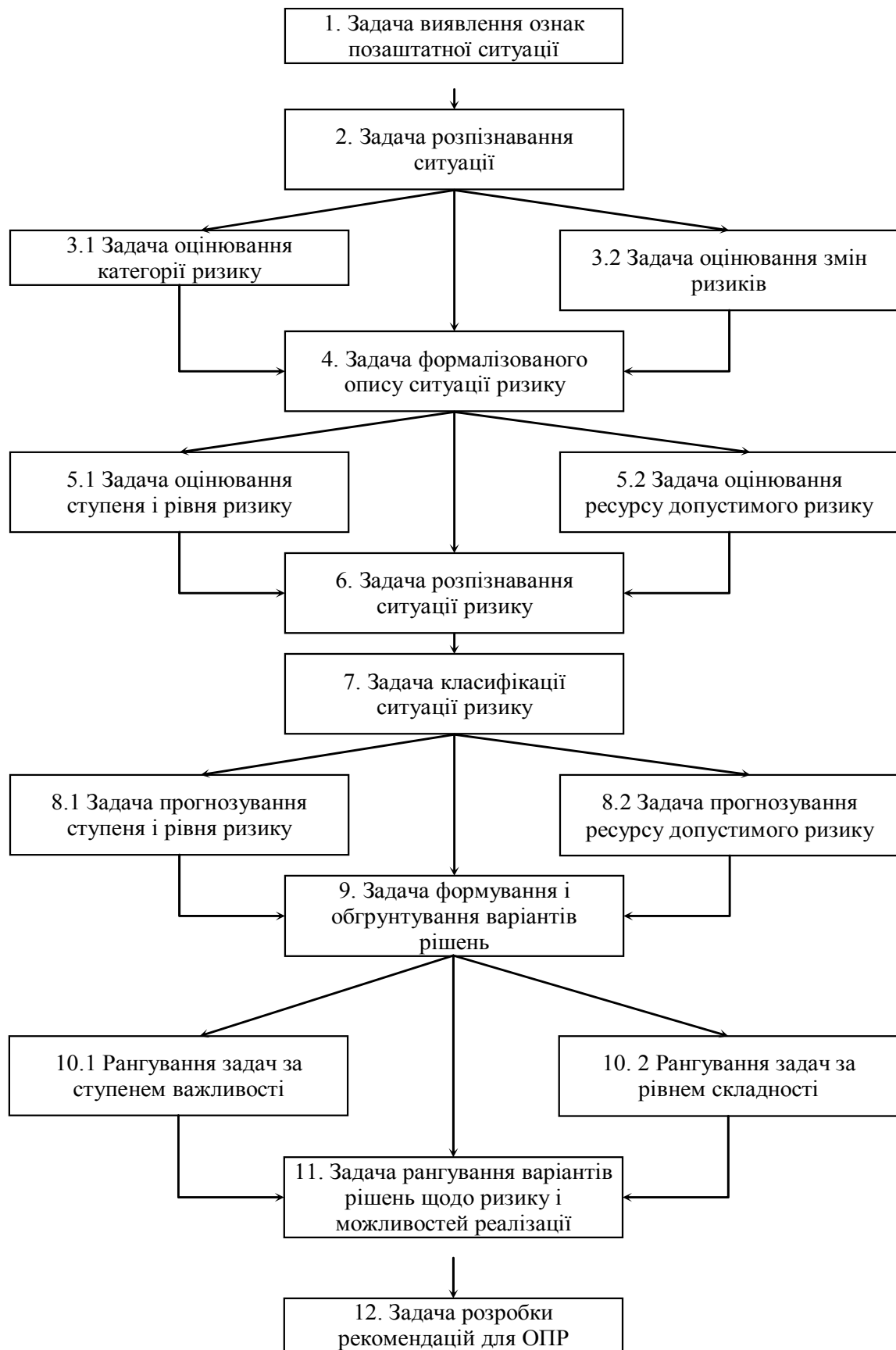


Рис. 1. Структурна схема алгоритму управління безпекою складних об'єктів у позаштатних ситуаціях



**Рис. 2. Схема взаємозв'язків задач аналізу ризиків у процесі управління складними об'єктами**

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дорогунцов С.И., Ральчук А.Н. Управление техногенно-экологической безопасностью в контексте парадигмы устойчивого развития: концепция системно-динамического решения. – К.: Наукова думка, 2002. – 200 с.
2. Технические средства диагностирования. // Справочник. Под ред. Ключева В.В. М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. Кулик М.С., Гвоздецкий И.И., Карпов С.М., Березьлов В.П. Системы автоматического керування газотурбінними двигунами: Навч. посібник. – К.: КМУЦА, 2000. – 140 с.
4. Казанджан П.К., Тихонов Н.Д., Шулькин В.Т. Теория авиационных двигателей. Рабочий процесс и эксплуатационные характеристики: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 2000. – 287 с.
5. Pankratova N., Kurilin B. Conceptual foundations of the system analysis of risks in dynamics of control of complex system safety. Part 1. Basic statements and substantiation of approach. // Journal of automation and information sciences. Vol. 33, № 2, 2001. P. 15–31.
6. Pankratova N., Kurilin B. Conceptual foundations of the system analysis of risks in dynamics of control of complex system safety. Part 2. The general problem of the system analysis of risks and the strategy of its solving. // Journal of automation and information. Vol. 33, № 4, 2001. P. 1-14.
7. Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D. System analysis: Theory and Applications. Springer. – 2007. – 475 p.