



## ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

УДК 62-192

### ПІДВИЩЕННЯ АВАРІЄРЕЗИСТЕНТНОСТІ ТЕХНІЧНИХ СТАЦІОНАРНИХ І РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ ЇХ СТРУКТУРНОЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

А.М. Хрупенко

(Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба)

*Надаються пропозиції щодо збереження в цілому працездатності складних об'єктів в умовах можливих аварій через децентралізацію таких об'єктів і пропонуються наочні критерії для вибору прийняттого ступеня децентралізації.*

***аварієрезистентність, стаціонарні і рухомі об'єкти, децентралізація***

**Постановка проблеми.** Виникнення відмов і викликаних ними аварій на створених людиною технічних об'єктах, що спостерігаються час від часу, є об'єктивно обумовлений факт. Така обумовленість визначається постійно діючими притаманними людині і її цивілізованому суспільству чинниками:

- антропогенного характеру;
- техногенного характеру;
- перетину перших двох.

Якщо вказані чинники на кожному етапі розвитку суспільства і його технічних можливостей мають певний рівень дії, знаходячись у стані перманентного розвитку, то виникає питання про пошук у цих умовах більш радикального способу запобігання аномальним ситуаціям на працюючих окремих об'єктах без зменшення інтенсивності і продуктивності їх роботи.

Огляд існуючих заходів досягнення об'єктом мети своєї діяльності або збереження, хоч і частково, своєї життєздатності в усіх можливих несприятливих умовах показує, що такий спосіб існує. Наприклад, задача неодмінного знищення стратегічної цілі вирішується призначенням для виконання цієї задачі не однієї одиниці засобів ураження (стратегічна ракета, літак), а певного набору (наряду) таких одиниць ураження.

Для збереження своїх сил в умовах можливих авіа- і артналётів протидіючі військові сторони вдаються до розосередження своїх бойових порядків на полі бою.

В умовах економічної кризи підприємство-виробник має більше шансів на виживання при диверсифікації своєї продукції. Економіка країни з імпортом енергоносіїв стає більш захищеною, якщо вона досягла достатнього рівня диверсифікації джерел імпорту енергоносіїв.

Для країни-експортера життєво необхідним стає також налагодження диверсифікованого зовнішнього ринку збуту. Обачливий вкладник, щоб забезпечити зберігання своїх коштів, буде розміщувати їх на депозитний рахунок не в одному комерційному банку, а в декількох. І подібних прикладів з діяльності окремих господарчих, комерційних, військових структур різних рівнів чимало. Усіх їх поєднує принцип, що виражений у народному американському прислів'ї: «Не варто зберігати всі яйця в одній корзині».

Життя показало, що прийшов час перетворити цей принцип у загальну, універсальну концепцію, що має обов'язково поширюватися на вибір і облаштування окремих розподільчих, технічних і енергетичних об'єктів, що входять до групи ризику з загрозою порушень у їх роботі життю людей.

На разі варто також нагадати, що за принципом децентралізації, диверсифікації, дублювання, резервування тощо побудований і весь біологічний світ, логіка еволюції якого була спрямована на збереження, зростання життєздатності окремих організмів і видів, а також їх відтворення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Засоби масової інформації у наш час, як їм і належить, сумлінно відстежують і надають громадськості необхідний фактичний і аналітичний матеріал про всі аномальні події на промислових, транспортних, технічних і енергетичних об'єктах.

Так, ми дізнавалися, що теплоенергетична аварія в Алчевську, що сталася 22 січня 2006 року, виникла із-за зруйнування внаслідок зносу і незвичайно низької навколишньої температури єдиної труби подачі теплоносія в місто від єдиної в місті котельної [1, 2]. Організаторами ліквідації аварії і урядом з залученням науковців був зроблений основний висновок, яким належало керуватись при відновлюваних роботах, що система теплопостачання Алчевська, а згодом і інших подібних міст потребує серйозної модернізації в напрямку децентралізації єдиного об'єкта теплопостачання. Централізована система опалення таких міст повністю себе вичерпала. Тому в планах відновлення системи теплопостачання Алчевська було передбачено введення для будинків окремих житлово-комунальних дільниць блочних котельень. А у розвиток подальшої децентралізації системи опалення міста керівництвом робіт у Алчевську було прийняте рішення підготувати зразково-показовий будинок з індивідуальним опаленням, яке є не тільки більш надійним, а й значно дешевшим через усунення втрат тепла ще на підводі його до будинку і квартир.

За моделлю теплоенергетичної трагедії в Алчевську, можна сказати, відбулася трагедія голодного виснажування мешканців Ленінграда упродовж 900 днів блокади у Вітчизняній Війні 1941-1945 років. Річ у тому, що основні запаси продовольства міста були зосереджені у одному місці –

на Бабаєвських складах, які були знищені ворогом ще до початку блокади. В опублікованих матеріалах про ці події, наприклад [3], цілком справедливо висловлюється здивування й обурення байдужістю й недалекоглядністю тодішніх керівників міста (Жданова, Кузнєцова та інших), які не здогадалися розосередити оті продовольчі склади по різних частинах міста. В цьому випадку блокада могла б скластися значно менш трагічно.

Ще один резонансний приклад трагічної події, що сталася теж в наші мирні часи і якої можна було б уникнути, якби організатори відійшли від хибного панівного стереотипу про неодмінно централізоване використання технічного об'єкта. Йтиметься про катастрофу українського пасажирського літака Ан-140, бортовий номер – 14003 під Ісфаханом (Іран) у грудні 2002 р. [4]. Нагадаємо, що це був третій літак даної моделі, піднятий в повітря харків'янами. На борту знаходилися його творці – авіаконструктори з АНТК ім. О.К. Антонова, розробники устаткування з НПК «Електронприлад» і МНТК «Авіоніка» (Росія), провідні спеціалісти Харківського авіаційного заводу. Загибло 44 людини, включаючи шістьох членів екіпажу, 39 українців та п'ятеро росіян. Всі вони квапилися на врочистості з нагоди початку виробництва в Ірані літаків ІрАн-140 – аналога українського Ан-140 при підтримці авіапрому України.

Основна причина катастрофи – людський фактор у супроводі з певними технічними причинами. Це і виконання заходу на посадку в умовах абсолютної темряви по запропонованому іранськими диспетчерами маневру, при якому навігаційна система літака давала хибні покази і врешті навела літак на гірську грядку, де в умовах нульової видимості екіпаж виявився безпорадним. Це і нерішучість екіпажу, який в тих умовах мав прийняти рішення виконувати посадку самостійно, як він це робив неодноразово і як її виконав ІрАн-140 з російським екіпажем всього за 10 хвилин до цього.

Супроводжуваними технічними причинами катастрофи, що ускладнили посадку Ан-140, стали: відсутність в оснащенні аеропорту Ісфахана локатора, що виключало візуальний контроль польоту літака; відмова далекоміра на борту літака, а також відсутність приладів забезпечення орієнтації екіпажа в гірській місцевості в умовах недостатньої візуальної видимості. Отже мав місце випадковий збіг вкрай несприятливих випадкових обставин польоту, характерних для того маршруту літаків Ан-140. До речі, в [4] згадувалося з посиланням на РІА «Новости», що на той час авіакатастрофа харківського Ан-140 стала вже четвертою за останні кілька років у гірському районі провінції Ісфахан. Тобто для описуваної ситуації існувала явна її імовірність.

У публікації про катастрофу Ан-140 під Ісфаханом наголошувалося на надзвичайності цієї трагедії, а саме, що тоді загинули не пересічні і випадково підібрані пасажери, а цвіт авіапрому України, що не зможе не позначитись на подальшому процесі літакобудування в Україні, а відтак і на добробуті України.

Постає питання: як все ж таки можна було б забезпечити обов'язкову доставку до Ісфахану у ті дні всього складу пасажирів, або хоча б його значну і дієву частину? Причому це неодмінно повинен був бути літак Ан-140, оскільки його політ був запланований за двосторонньою угодою і мав демонстраційне значення. Відповіді на це питання у всіх опублікованих про цю подію аналітичних матеріалах до нинішнього часу не надається.

**Мета статті:** а) запропонувати для використання при створенні технічних і енергетичних об'єктів метод підвищення їх антиаварійної стійкості й опірності, збереження їх життєздатності при окремих відмовах шляхом структурної децентралізації цих об'єктів;

б) запропонувати наочні й зручні критерії й показники, які можна було б використовувати для вибору в різних випадках раціонального ступеня децентралізації об'єкта з метою підвищення аварійної резистентності.

**Основний матеріал.** Із попереднього проведеного аналізу можна з'ясувати, що децентралізація об'єкта має здійснюватися або з метою забезпечення виконання певної виробничої і технічної функції або з метою забезпечення збереження розміщеного в об'єкті предмету зберігання чи транспортування (вантаж, пасажир, кошти, інформація і т.п.).

У першому випадку, коли задані параметри роботи всього об'єкту при відмовах або ураженнях його окремих елементів не змінюються, а зменшується тільки запас надійності всього об'єкта, то мова йде лише про резервування.

У другому випадку відмови або ураження окремих складових об'єкта виражаються в якійсь частковій втраті розміщеного в об'єкті вантажу. Тому тут мова може йти про збереження якоїсь частини вантажу, тобто про збереження тільки в тій чи іншій мірі життєздатності об'єкта. До цієї ж схеми належать і випадки розосередження сил на полі бою та децентралізації технологічних об'єктів, коли розосереджується виконання їх основної функції на окремих автономно працюючих об'єктах дещо меншого масштабу.

Поняття життєздатності в статті використовується з метою забезпечення асоціації з біологічними системами. Так людина або інша істота залишатиметься життєздатною і навіть у певній мірі працездатною у разі хвороби або ураження одного органу із їх пари – нирки, легені, півкулі головного мозку та інше. Правда, якість життя при цьому дещо понижується, бо тільки два ока у їх парі забезпечують стереосприйняття предмету, як і тільки обидва вуха створюють бінауральний ефект – визначають напрям надходження звуку і т.д.

Таким чином. у збереженні з часом працездатності створених об'єктів з підтримкою значень усіх робочих параметрів або із збереженням життєздатності з можливою частковою втратою своїх функцій при відмовах або ураженнях, ідея децентралізації об'єкта, будучи універса-

льною у своєму походженні, логічно має поширюватися на всі створювані об'єкти, що мають важливе значення для життя суспільства.

Для цього необхідно:

– осягти саму ідею децентралізації створюваних для використання об'єктів;

– мати необхідні для створюваних або використовуваних об'єктів додаткові матеріальні ресурси;

– для прийняття рішення з вибору і реалізації раціонального ступеня децентралізації створюваних і використовуваних об'єктів зважувати на певні наочні показники.

Повертаючись до історії з катастрофою літака Ан-140, бортовий номер 14003 у грудні 2002 р., тепер можна сказати, що лиху можна було запобігти у значній мірі, розмістивши весь склад пасажирів того літака на кількох таких літаках з наданням права ініціативи вибору кожним екіпажем, в межах діючих інструкцій, способу посадки у відповідності до обставин.

Щодо вибору кількості відокремлюваних об'єктів замість одного, тобто вибору ступеня децентралізації вихідного об'єкта, автор пропонує використовувати кількісні показники, значення яких можна вибрати за допомогою відомого в теорії імовірностей і теорії надійності методу – визначення розподілу цілочисельних випадкових величин. Вказаний метод впливає з часткової теореми теорії імовірностей про повторення дослідів [5 – 7], яка, нагадаємо, проголошує наступне.

Якщо проводиться  $n$  незалежних досліджень в однакових умовах, причому в кожному з них з імовірністю  $p$  з'являється подія  $A$ , то імовірність  $P_{m, n}$  того, що подія  $A$  станеться в цих  $n$  дослідах  $m$  разів, виразиться формулою біноміального розподілу

$$P_{m, n} = C_n^m p^m q^{n-m} \quad (m = 0, 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

де  $q = 1 - p$ .

Для задачі про імовірність появи  $m$  разів протилежної  $A$  події –  $\bar{A}$ , яка має імовірність  $q = 1 - p$  в кожному із  $n$  дослідів, відповідно матиме місце

$$P_{m, n} = C_n^m q^m p^{n-m}. \quad (2)$$

В (1) і (2)  $C_n^m$  – біноміальні коефіцієнти, що визначаються як кількість сполук із  $n$  елементів по  $m$  [5 – 7]:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)}. \quad (3)$$

Видно, що вихідними умовами для отримання рядів значень  $P_{m, n}$  є значення  $p$  і, відповідно,  $q = 1 - p$ .

Наприклад, якщо ступінь децентралізації  $D = n/z$ , де  $z$  – вихідна кількість об’єктів, що підлягають децентралізації,  $n$  – кількість новоутворених об’єктів внаслідок проведеної структурної децентралізації, то для  $z=1$  і, відповідно,  $D=n$ , імовірності справної роботи упродовж заданого часу кожного об’єкта  $p=0,9$  і, відповідно, імовірність відмови  $q=0,1$ , автором розраховані значення  $P_{m,n}$  в межах  $n=1, \dots, 6$  та

Таблиця 1

Значення  $P_{m,n}$  при  $p=0,9$ ;  $q=1-p$

$m \setminus n$	1	2	3	4	5	6
0	0,9	0,81	0,729	0,6561	0,5905	0,5314
1	0,1	0,18	0,243	0,2916	0,328	0,3543
2	–	0,01	0,027	0,0486	0,0729	0,0984
3	–	–	0,001	0,0036	0,0081	0,01458
4	–	–	–	0,0001	0,00045	0,001215
5	–	–	–	–	0,00001	0,000054
6	–	–	–	–	–	0,000001

$m=0, \dots, n$  (табл. 1).

Із (2) випливає, що імовірність відмови всіх об’єктів, що приймають участь в роботі в заданих умовах, тобто при  $m=n$

$$P_{n,n} = C_n^n q^n p^{n-n} = q^n, \quad (4)$$

або при  $m=0$

$$P_{0,n} = C_n^0 q^0 p^n = p^n, \quad (5)$$

що узгоджується з теоремою про імовірність сумісної появи (добутку) декількох не-

залежних подій [5, 6]:

$$P\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i); \quad (6) \quad P\left(\prod_{i=1}^n \bar{A}_i\right) = \prod_{i=1}^n P(\bar{A}_i), \quad (7)$$

звідки при  $P(A_i) = idem = p$  і  $P(\bar{A}_i) = idem = q$  маємо:

$$\prod_{i=1}^n P(A_i) = idem = p^n; \quad \prod_{i=1}^n P(\bar{A}_i) = idem = q^n.$$

Тобто, якщо для вихідного централізованого об’єкта показники  $p=0,9$  і  $q=1-p=0,1$ , то для децентралізованого з нього об’єкта, що матиме два новоутворені за тією ж структурою, технологією і елементарною базою автономні об’єкти ( $n=2$ ),  $q^n = q^2 = 0,1^2 = 0,01$ .

Для ступеня децентралізації  $n=3$   $q^n = 0,1^3 = 0,001$  і т.д.

Таким чином, рішення про вибрану ступінь децентралізації об’єкта може бути визначено нормативно встановленою вимогою до імовірності відмови децентралізованого об’єкта, тобто до значення  $q^n$ , або до значення імовірності безвідмовної роботи всього децентралізованого об’єкта – величини  $p^n$  (при  $m=0$ ). Наприклад, якщо ця вимога до імовірності відмови всього об’єкта складає значення  $0,001$ , то при  $q=0,1$  для

поодинокого об'єкта ступінь децентралізації  $n$ , як видно з табл. 1, становитиме  $n=3$ . Але може діяти і вимога по імовірності щодо допустимої частки втрат  $m/n$ , що ближче до реальних ситуацій.

Наприклад, децентралізована система тепlopостачання міста може залишатися практично працездатною при виході з ладу третини котельнь ( $m/n=1/3$ ) й непрацездатною при виході з ладу  $m/n \geq 2/3$  котельнь.

Але  $(m/n)_{\text{доп}}=1/3$  може бути досягнута при варіантах:  $n=3$ ,  $m=1$  і  $n=6$ ,  $m=2$ .

Із наведених розрахунків (табл. 1) з вказаними вихідними умовами видно, що у першому варіанті  $P_{m,n}=P_{1,3}=0,243$ , а у другому випадку імовірність ситуації  $P_{m,n}=P_{2,6}=0,0984$ . Тобто, якщо б діяв норматив на імовірність для  $m/n=(m/n)_{\text{доп}}=1/3$ , наприклад,  $P_{m,n}=0,1$ , то перевагу, як видно з табл. 1, слід було б надати варіанту  $(m/n)_{\text{доп}}$  з більш розвинутою децентралізацією об'єкта, тобто варіанту з  $n=6$ , а не  $n=3$ .

Для більш наочного осягнення закономірностей табл. 1 з впливу величини  $n$  можна побудувати графічні залежності  $P_{m,n}=f(n)$  для  $P_{m,n}=C_n^m q^m p^{n-m}$  при  $n=m$  і  $q=(q)_{\text{зад}}$ , а також залежності  $P_{m,n}=f(n)$  для  $P_{m,n}=C_n^m q^m p^{n-m}$  при  $m/n=(m/n)_{\text{зад}}$  і  $q=(q)_{\text{зад}}$ .

Зауважимо, що для кожного конкретного технічного об'єкта зі своїми значеннями  $p$  і  $q$  треба будувати свої таблиці по аналогії з табл. 1. В цьому випадку можна буде бачити, що для  $P=0,80..0,85$ , наприклад, ступінь децентралізації при нормативі  $q^n \leq 0,01$  становитиме  $n=4..5$ , що має місце для об'єктів типу котельнь опалювальної системи міста. А для  $p=0,95..0,96$ , що відповідає сучасним літальним апаратам на освоєних трасах, оптимальний ступінь децентралізації при нормативі  $q^n \leq 0,01$  складатиме  $n \approx 2..3$ .

Для випадку польоту Ан-140, бортовий номер 14003 у грудні 2002 р. в умовах гірської гряди і повної темряви імовірність благополучного завершення польоту, можна припустити, складала  $p \leq 0,9$ . І тоді, як показали б розрахунки за наведеною моделлю, ступінь децентралізації при допустимих  $q^n \leq 0,01$ ;  $(m/n)_{\text{доп}}=1/3$  і  $P_{m,n}=0,25$  становила б  $n \sim 3$ .

**Висновки.** Благополуччя суспільства на сучасному етапі його розвитку в значній мірі завдячується широкому використанню різноманітних високопродуктивних але складних і напружених технічних засобів.

З відомих об'єктивних причин використовувані технічні засоби в комплексі з людиною-оператором мають обмежений ступінь експлуатаційної надійності, хоча він і є оптимальним, зважаючи як на наукові і технологічні досягнення, так і на обмежені реальні можливості суспільства, а також на одночасно раціональну і ірраціональну природу людини.

Обмежена надійність технічних засобів викликає час від часу їх неочікувані відмови, що призводить до значних матеріальних і людських втрат, а також порушень життєдіяльності і життєспроможності суспільства, що викликає гучний негативний резонанс в суспільстві.

В умовах обмеженої надійності окремих технічних об'єктів, що мають безпосереднє життєве значення для груп людей, що користуються їх послугами або їх обслуговують, можна підвищити надійність або життєздатність цих об'єктів шляхом їх структурної децентралізації. Висновок про доцільність децентралізації окремих технічних об'єктів впливає з узагальнення всієї практичної діяльності людини, а також устрою і функціонування різноманітних біосистем на анатомічному і нейрологічному рівнях.

Вихідними умовами для прийняття рішення про ступінь структурної децентралізації конкретного технологічного об'єкта є відомі показники надійності поодиноких вихідних і новоутворених об'єктів певного структурного і технологічного рівня, допустимий ступінь збереження життєздатності всього децентралізованого об'єкта при окремих відмовах, а також нормативна імовірність повного виходу з ладу всього децентралізованого об'єкта.

Рішення про ступінь децентралізації конкретного технічного об'єкта може бути прийнято, наприклад, на основі дослідження біноміального розподілу випадкової величини  $m$  – кількості об'єктів, що вийшли з ладу з  $n$  новоутворених при децентралізації і зіставлення відповідних імовірностей з ймовірностями нормативних вимог.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Газета «Слобідський край» – №№ 11, 13, 16, 18, 28, 29 за 2006 р.
2. Газета «Труд» – №№ 9, 11 за 2006 р.
3. Стегній В. У капкані і на порохівій бочці // Газета «Слобідський край». – № 153, 24.09.2005.
4. Біденко М. Фатальний політ у горах Ірану // Газета «Слобідський Край» – № 246, 25.12.2006.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1973. – 366 с.
6. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
7. Цыпкин А.Г. Справочник по математике. – М.: Наука, 1988. – 432 с.

Надійшла 22.04.2006

**Рецензент:** кандидат технічних наук, ст. науковий співробітник А.В. Примак, Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.