МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК: 378.937+378.14+351.78

О. І. Чумаченко, канд. техн. наук,
В. В. Цілицький,
М. О. Білий

ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕНОЇ НАДІЙНОСТІ ОДНОГО КЛАСУ

Національний технічний університет України «КПІ»

Розглянуто побудову інформаційних систем підвищеної надійності. Запропонований варіант дозволяє використовувати програмне й апаратне резервування. Наведено етапи роботи системи у разі відмов.

Ключові слова: інформаційна система, програмне забезпечення, апаратне та програмне резервування.

Вступ. Підвищення вимог до якості інформаційних систем (ІС) зумовлює безперебійну роботу цих систем, тобто неперервну роботу 24 год на добу, 7 днів на тиждень. Це стосується здебільшого сучасних систем бізнес-критичної галузі, таких як телекомунікаційні системи, WEB-сервери, системи електронної комерції, охоронні ІС. Їх збої у роботі можуть призвести до великих економічних та матеріальних втрат.

Використання сьогодні нових телекомунікаційних технологій та управління у практичній діяльності аварійно-рятувальних підрозділів дозволяє суттєво підвищувати ефективність їх роботи, що забезпечується за рахунок упровадження нових методів отримання, передавання та оброблення управлінської інформації.

Забезпечувати неперервну роботу можна апаратними і програмними засобами. Це досягається резервуванням усіх компонентів системи і постійним контролем їх роботи.

Постановка завдання. Метою роботи є узагальнення методів та рішень щодо підвищення надійності інформаційної системи, а також розроблення типової архітектури резервування елементів та їх контроль на прикладі системи пожежного спостереження (СПС).

Типова архітектура ІС СПС. Інформаційні системи включають в себе: технічні засоби оброблення даних, програмне забезпечення і відповідний персонал. Чотири складові частини утворюють внутрішню інформаційну основу:

– засоби фіксації і збирання інформації;
– засоби передавання відповідних даних та повідомлень;
– засоби зберігання інформації;
– засоби аналізу, оброблення і подання інформації.

Приклад типової архітектури ІС СПС показано на рис. 1. Повідомлення надходять через мережу Інтернет або через COM-порти на основний та резервний апаратні сервери, на автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів, де й обробляються.

Програмний модуль узгодження з апаратними засобами (ПМАЗ) відповідає за взаємодію з пультовими та об’єктовими комунікаторами. В його функції входить приймання повідомлень від об’єктових комунікаторів та передавання їх до серверного модуля, а також передавання команд від серверного модуля на об’єктові комунікатори. Для приймання повідомлень модуль відкриває порт TCP/IP, на який надходять повідомлення від комунікаторів через мережу Інтернет. З пультовими комунікаторами модуль з’єднується через COM-порти. До одного модуля ПМАЗ може бути підключено скільки завгодно комунікаторів. Їх кількість визначається кількістю підключених об’єктів та періодом їх опитування.

Серверний модуль – це центральне ядро системи. Він координує роботу усіх інших модулів. Функції серверного модуля:

– приймання сповіщень від модулів ПМАЗ та зберігання їх у базі даних. Для кожного прийнятого сповіщення серверний модуль визначає категорію сповіщення і в разі потреби, створює спрацювання;

– відстеження змін у спрацюванні (це може бути виконання дії або приймання нового сповіщення) та розсилання зміненого спрацювання усім операторам;

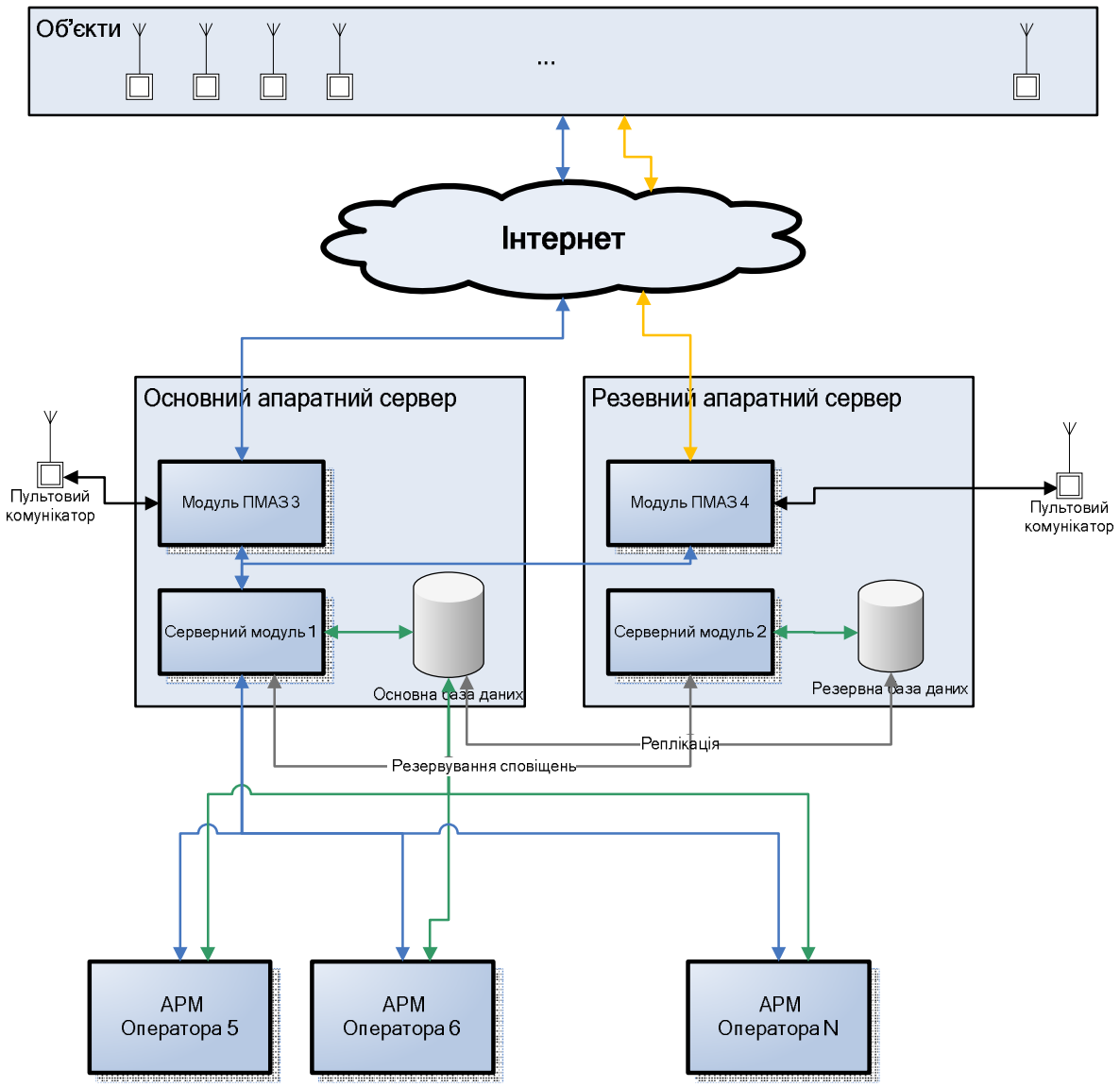

Рис. 1. Типова конфігурація СПС, нормальний режим роботи: ↔ – TCP/IP з'єднання; ↔ – резервний канал Інтернету; ↔ – з'єднання з базою даних (ADO); ↔ – резервування даних; ↔ – з'єднання через COM-порт

– виконання автоматичних дій у спрацюваннях;

– відстеження зв'язку з кожним оператором. У разі зникнення зв'язку всі спрацювання, що були в роботі у цього оператора, перенаправляються усім іншим;

– автоматична перевірка зв'язку з об'єктовими комунікаторами. Період опитування задається в картці кожного комунікатора;

– автоматичне передавання повідомлень на резервний сервер.

У системі може бути лише один робочий серверний модуль. Резервний модуль працює в режимі очікування і не виконує ніяких операцій.

Модуль оператора – це графічний інтерфейс користувача, який дозволяє:
– працювати з несправностями об'єктів;
– заповнювати та коригувати бази даних об'єктів та апаратури;
– заповнювати та коригувати довідники;
– переглядати різноманітні журнали;
– переглядати статистику;
– виконувати сервісні операції з об'єктовою апаратурою;
– контролювати проведення ремонтних та регламентних робіт на апаратурі об'єкта;
– налаштовувати права доступу до системи.

Контроль роботи ІС СПС. Оскільки програмно-апаратний комплекс СПС повинен забезпечувати майже 100 % надійності та доступності, в ньому використовується резервування усіх апаратних та програмних компонентів. Типова конфігурація має включати:

– два апаратні сервери, які будуть використовуватись для запуску серверних модулів та зберігання бази даних;

– щонайменше два персональні комп'ютери, на яких будуть запущені модулі оператора;

– два інтернет-канали, кожен з яких буде підключений до різних серверів. Бажано, щоб інтернет-канали забезпечувались різними провайдерами та мали різний фізичний спосіб доступу (наприклад, ADSL та GSM).

Основний серверний модуль має бути підключений до основної бази даних, резервний сервер – до резервної бази даних. Сервери баз даних, у разі потреби, можуть бути запущені на окремих фізичних серверах.

Кожен сервер як додатковий захист може мати RAID-контролер, резервний блок живлення та інші компоненти захисту.

Усі комп'ютери, монітори, комунікатори та мережеве обладнання повинні бути підключені до безперебійного джерела живлення.

Резервування інтернет-каналу досягається тим, що на основний сервер підключається один канал, на резервний сервер – інший канал від іншого провайдера. Модулі приймання повідомлень на основному та резервному серверах будуть приймати повідомлення відповідно по основному та резервному каналам. Повідомлення передаватимуться на основний сервер.

Кожне повідомлення, що надходить на сервер, відразу передається і на резервний сервер. Таким чином, у разі раптового зникнення зв'язку з основним сервером усі програмні модулі зможуть переключатися на резервний сервер та продовжити працювати з копіями повідомлень.

У типовій конфігурації комплексу використовують дві бази даних, кожна з яких зберігається на окремому фізичному сервері. Дані в обох базах ідентичні. Синхронізація виконується за допомогою механізму реплікації.

Для визначення працездатності кожного елемента виконується опитування через деякий проміжок часу. Якщо компонент системи вийшов з ладу, ІС перемикається на використання резервного. При цьому видається повідомлення про перехід і несправність відповідного елемента.

Перехід на резервний сервер. Розглянемо ситуацію, коли виходить з ладу апаратний основний сервер (рис. 2), унаслідок чого втрачають працездатність основний серверний модуль, основний модуль ПМАЗ та основна база даних:

– резервний модуль ПМАЗ втрачає зв'язок із серверним модулем. Створюється програмне повідомлення «Втрачено зв'язок з основним сервером». Протягом однієї хвилини цей модуль намагається відновити з'єднання, після чого автоматично перемикається на

резервний сервер. Створюється повідомлення «Виконано перемикання на резервний сервер». Обидва повідомлення передаються на резервний серверний модуль після підключення до нього;

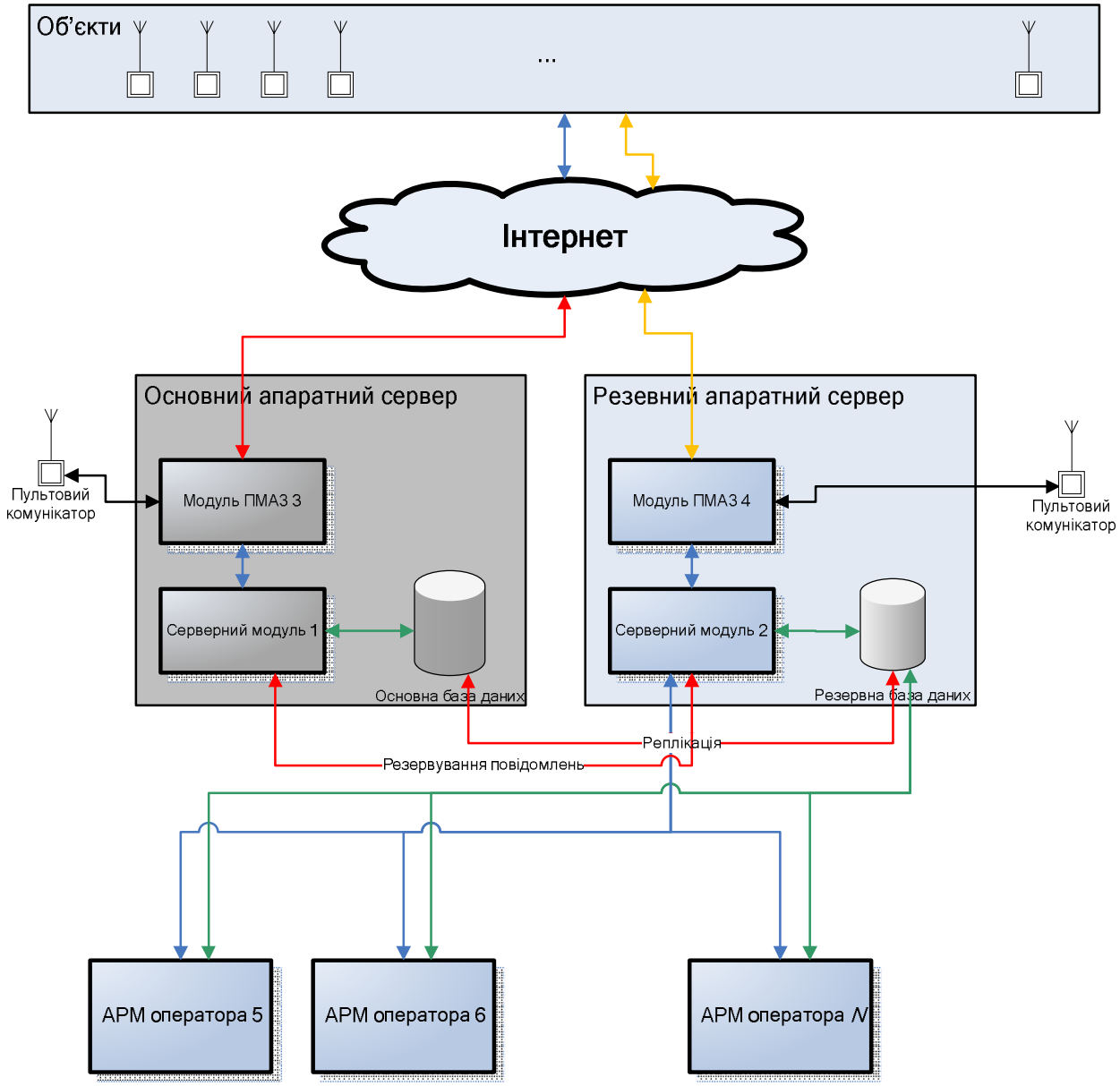

Рис. 2. Типова конфігурація СПС, робота на резервному сервері: – TCP/IP з'єднання; – резервний канал Інтернет; – з'єднання з базою даних (ADO); – резервування даних; – з'єднання через COM-порт; – розірвані зв'язки

– усі модулі операторів втрачають зв'язок із сервером. На екрані кожного оператора з'являється повідомлення, що зв'язок втрачено, і пропонується перейти на роботу з резервним сервером. Оператори за допомогою ручної операції переходять на роботу з резервним сервером. Під час перемикання на резервний модуль вони також перемикаються на резервну базу даних;

– резервний серверний модуль підключає операторські модулі та розсилає їм усі повідомлення;

– об'єктові комунікатори більше не мають змоги передати повідомлення на основну адресу і перемикаються на резервну. Повідомлення надходять по резервному каналу

Інтернету до резервного ПМАЗ, звідти – до резервного серверного модуля і далі – до операторів.

У такому режимі роботи на передавання повідомлення від об'єкта потрібно трохи більше часу, оскільки об'єктовий комунікатор спочатку намагається передати його на основну IP-адресу і лише потім – на резервну.

Розрахунок надійності ІС СПС. Загальну схему комплексу для розрахунку надійності показано на рис. 3, де елементи *1* і *1'* – модулі ПМАЗ 3 та ПМАЗ 4 відповідно, *2* та *2'* – серверний модуль 1 і серверний модуль 2 відповідно.

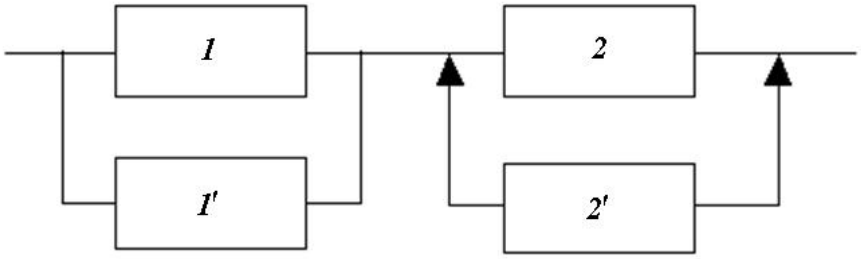

Рис. 3. Загальна схема комплексу

Модулі ПМАЗ 3 та ПМАЗ 4 працюють одночасно, тому на схемі модуль 4 позначено як навантажений резерв. Серверний модуль 2 чекає, поки відмовить серверний модуль 1, тому його позначено як ненавантажений резерв.

Визначимо ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ за t = 100 год, середнє напрацювання на відмову T_1, середню тривалість відновлення $T_в$, якщо відомі показники надійності елементів:

$\lambda_1 = 10^{-4}$ 1/год; $\lambda_2 = 10^{-2}$ 1/год; $T_{в1}$= 0,017 год; $T_{в2}$= 0,0083 год.

Розподіли напрацювання на відмову і тривалості відновлення елементів припускаються експоненціальними, а відновлення – необмеженим (черга на відновлення не утворюється).

Розіб'ємо схему системи на дві підструктури *A* (елементи *1* та *1'*) та *B* (елементи *2* та *2'*).

Імовірність безвідмовної роботи цієї системи

$$p(t) = p_A(t)p_B(t),$$

тобто система буде працювати, коли працюватимуть усі підсистеми *A* та *B*.

Середній час напрацювання на відмову

$$T_1 = \left(\frac{1}{T_{1A}} + \frac{1}{T_{1B}}\right)^{-1}.$$

Середню тривалість відновлення визначають як

$$T_B = T_1\left(\frac{T_{BA}}{T_{1A}} + \frac{T_{BB}}{T_{1B}}\right).$$

Інтенсивності відновлення визначають так:

$$\mu_i = \frac{1}{T_{Bi}},\ i \in [1,2];$$

$$\mu^T = [58,82;\ 120,48].$$

Структуру *A* показано на рис. 4.

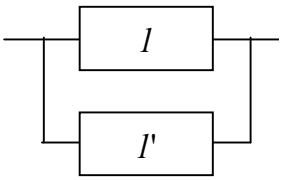

Рис. 4. Структура *A*

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми (для навантаженого резерву), якщо $\lambda = \lambda_1 = 10^{-4}\,\frac{1}{\text{год}}$ і $t = 100$ год, визначають за формулою

$$p_A(t) = \prod_{i=1}^{n} 1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m_i+1} = \left| \begin{matrix} n=1 \\ m=1 \end{matrix} \right| = 1 - [1 - e^{-\lambda t}]^2 = 1 - [1 - e^{-10^{-4}\cdot 100}]^2 = 0,99.$$

Середній час напрацювання на відмову

$$T_{1A} = \frac{(n-1)!}{\lambda(m-1)} \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{v_i(v_i+1)\ \ldots\ (v_i+n+1)},$$

де $v_i = \dfrac{i+1}{m+1}$.

Якщо $n = 1$ і $m = 1$ (один основний елемент *1* та один резервний *1'*), маємо

$$v_0 = \frac{0+1}{0+1} = 1,\ v_1 = \frac{1+1}{1+1} = 1.$$

Тоді

$$T_{1A} = \frac{0!}{10^{-4}\cdot 2}\left(\frac{1}{1(1+1)(1+1+1)}2\right) = \frac{1}{0,0002}\cdot\frac{1}{3} = \frac{1}{0,0006} = 1666,7 \text{ (год)}.$$

Середня тривалість відновлення

$$T_{BA} = 0,017 \text{ год}.$$

Структуру *B* показано на рис. 5.

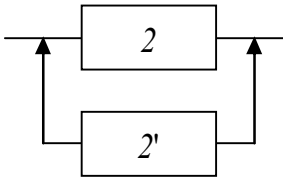

Рис. 5. Структура *B*

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми, якщо $\lambda = \lambda_2 = 10^{-2}\,\frac{1}{\text{год}}$ і $t = 100$ год, $m = 1$ та $n = 1$, визначають як

$$p_B(t) = e^{-\lambda t}\sum_{i=0}^{m}\frac{(\lambda t)^2}{i!} = e^{-\lambda t}\left((\lambda t)^2 + (\lambda t)^2\right) = e^{-\lambda t}\,2(\lambda t)^2 = e^{-10^{-2}\cdot 100}\cdot 2(10^{-2}\cdot 100)^2 = e^{-1}\cdot 2 = 0,736.$$

Середній час напрацювання на відмову можна визначати через граф станів структури *B* (рис. 6).

На графі зображено такі стани підсистеми *B*:

0 – усі компоненти підсистеми *B* працездатні;

1 – елемент *2* непрацездатний, елемент *2*' працездатний;
2 – усі елементи підсистеми *B* непрацездатні.

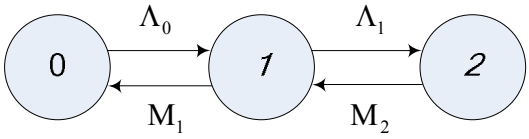

Рис.6. Граф станів структури *B*

Для ненавантаженого резерву

$$\Lambda_0 = \Lambda_1 = \lambda_2 = 10^{-2};$$
$$M_1 = M_2 = \mu_2 = 120,48.$$

Тоді

$$T_{1B} = \sum_{i=0}^{k}\left[\sum_{j=0}^{i}\frac{\theta_j}{\Lambda_i\theta_i}\right],\ k=1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{1B} = \frac{\theta_0}{\Lambda_0\theta_0} + \frac{\theta_0}{\Lambda_1\theta_1} + \frac{\theta_1}{\Lambda_1\theta_1} = \frac{1}{10^{-2}\cdot 1} + \frac{1}{10^{-2}\cdot\dfrac{10^{-2}}{120,48}} + \frac{\dfrac{10^{-2}}{120,48}}{10^{-2}\cdot\dfrac{10^{-2}}{120,48}} =$$

$$= 10^{-2} + 120,48\cdot 10^{-4} + 10^{2} = 1205000 \text{ (год)}.$$

Середня тривалість відновлення

$$T_{BB} = \frac{1}{(m+1)\mu} \Rightarrow \left|\begin{matrix} m=1 \\ \mu = \mu_2 = 120,48 \end{matrix}\right. \Rightarrow \frac{1}{2\cdot 120,48} = 0,0041 \text{ (год)}.$$

Для загальної схеми (рис. 3):
– імовірність безвідмовної роботи

$$p(t) = p_A(t)p_B(t) = 0,99\cdot 0,736 = 0,729;$$

– середній час напрацювання на відмову

$$T_1 = \left(\frac{1}{T_{1A}} + \frac{1}{T_{1B}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{1666,7} + \frac{1}{1205000}\right)^{-1} = 1,6\cdot 10^{3} \text{ (год)};$$

– середня тривалість відновлення

$$T_B = T_1\left(\frac{T_{BA}}{T_{1A}} + \frac{T_{BB}}{T_{1B}}\right) = 1,6\cdot 10^{3}\cdot\left(\frac{0,017}{1666,7} + \frac{0,0041}{1205000}\right) = 0,016 \text{ (год)}.$$

Висновки. Надійність ІС є важливою характеристикою комплексів бізнес-критичного застосування, за допомогою яких можна мінімізувати економічні й матеріальні втрати, зумовлені простоями цих систем. Для цього потрібно використовувати резервування всіх елементів ІС, як апаратних, так і програмних. Важливо також, щоб ІС була економічно вигідною, тобто повинен бути вибір використання резервуваня системи, або задіювати лише резервування окремих компонентів.

Запропоновано приклад ІС СПС, її роботу за відмов елементів системи. Система досить гнучка у процесі експлуатації як за надійністю, так і в економічному вираженні.

Список літератури

1. *Кузнецов В.В.* Прямая и обратная задачи надежности сложных программных комплексов / В. В. Кузнецов, В. А. Смагин // Надежность и контроль качества. – 1997. – № 10. – С. 56–62.
2. *Майерс Г.* Надежность программного обеспечения / Г. Майерс. – М.: Мир, 1980. – 174 с.
3. *Майсян И. Г.* Методика оценки надежности программного обеспечения АСУ ТП, использующего востановление от сбоев / И. Г. Майсян, М. В. Максимов // Вісн. Черкас. держ. технол., ун-ту. – 2006. № 2. – С.76 – 80.

Е. И. Чумаченко, В. В. Цилицкий, Н. А. Белый

Построение информационной системы повышенной надежности одного класса

Рассмотрено построение информационных систем повышенной надежности. Предложенный вариант позволяет использовать программное и аппаратное резервирование. Приведены этапы работы системы при отказах.

H. I. Chumachenko, V. V. Tsilytskyi, N. A. Bilyi

Construction of an information system of high reliability of a class

We consider the construction of information systems of high reliability. The proposed approach uses software and hardware redundancy. Stages of the system in case of failure.