

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ОНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ БАГАТОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ

Б. Ю. Волочій

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: bvolochiy@ukr.net

М. В. Міськів

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Кафедра радіоелектронних пристроїв та систем**

О. В. Муляк

Аспірант*

E-mail: mulyak.oleksandr@gmail.com

Л. Д. Озірковський

Кандидат технічних наук*

E-mail: lozirkovsky@lp.edu.ua

*Кафедра теоретичної радіотехніки та

радіовимірювань**

**Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

В статті розглядається програмно-апаратна система, призначена для довготривалої безперервної експлуатації. В процесі її експлуатації проводиться заміна програмного забезпечення новими версіями, що в свою чергу приводить до підвищення надійності такої системи. Проведено порівняння тривалостей безвідмовної роботи відмовостійкої багатопроцесорної системи, визначених на моделях з врахуванням оновлення програмного забезпечення та без врахування оновлення

Ключові слова: надійність програмно-апаратних систем, відмовостійка програмно-апаратна система, відмовостійка багатопроцесорна система

В статье рассматривается программно-аппаратная система, предназначенная для долговременной непрерывной эксплуатации. В процессе ее эксплуатации производится замена программного обеспечения новыми версиями, что в свою очередь приводит к повышению надежности такой системы. Проведено сравнение длительностей безотказной работы отказоустойчивой многопроцессорной системы, определенных на моделях с учетом обновления программного обеспечения и без учета обновления

Ключевые слова: надежность программно-аппаратных систем, отказоустойчивая программно-аппаратная система, отказоустойчивая многопроцессорная система

1. Вступ

Надійніше проектування багатопроцесорних систем [1-8] має свою специфіку, так як необхідно передбачити захист від відмов та збоїв апаратних засобів, збоїв програмного забезпечення (ПЗ), а також врахувати оновлення версії ПЗ. В програмно-апаратних системах (ПАС) для підвищення надійності та збільшення тривалості їх безперервної роботи використовується: властивість відмовостійкості для апаратних засобів (АЗ); програмне забезпечення від різних виробників [9], що унеможлиблює виникнення відмов на однакових циклах роботи ПЗ. В ПАС, у яких не допускається простій, передбачається використання резервної багатопроцесорної системи [13], яка паралельно виконує ті ж функції, що і основна. Резервна багатопроцесорна система включається в роботу при виявленні засобом контролю порушення працездатності основної багатопроцесорної системи. Для підвищення надійності апаратних засобів в таку систему включаються резервні процесори, які складають спільний ковзний резерв для обох багатопроцесорних систем. При проектуванні ПЗ для ПАС в кодї програми залишаються помилки (bugs – англ. по-

милка), які призводять до непрацездатності ПАС. На етапі тестування ПЗ проводиться його верифікація та удосконалення, в результаті чого кількість помилок мінімізується. Проте не зважаючи на тестування ПЗ [10] та його верифікацію, в кодї програми залишаються не виявлені помилки. Такі помилки призводять до відмов, або збоїв ПЗ на етапі його експлуатації. Під час експлуатації першої версії ПЗ проводиться розробка нової версії. Вважається, що кожна нова версія ПЗ є більш надійною за попередню. Для відновлення працездатності ПЗ після збою апаратних засобів, проводиться автоматичне перезавантаження ПЗ. Відновлення працездатності ПАС шляхом автоматичного перезавантаження ПЗ, потребує затрат часу. Ці затрати часу обумовлюють простій ПАС і, як наслідок впливають на показники надійності ПАС (ймовірність безвідмовної роботи на інтервалі експлуатації, середнє значення тривалості безвідмовної роботи до критичної відмови, і т.д.). Розробка згаданих вище відмовостійких ПАС з комбінованим структурним резервуванням вимагає вирішення ряду задач надійнісного проектування. Для цього в розпорядженні проєктанта мають бути відповідні надійнісні моделі такої відмовостійкої ПАС.

2. Аналіз інформаційних джерел

В роботах [1 – 4] пропонуються надійнісні моделі багатопроцесорних систем, в яких не враховується надійність ПЗ. В роботах [5, 6] описана надійнісна модель ПАС для оцінки показників її надійності, в якій запропоновано розрізняти відмови АЗ та збої ПЗ. Проте не враховано можливість оновлення ПЗ. Дана модель запропонована для ПАС, в яких допускається простій. В роботах [7, 8] запропонована надійнісна модель ПАС для оцінки показників надійності, в якій також розрізняються відмови АЗ та ПЗ, враховується зміна значення інтенсивності відмови ПЗ після проведення виправлень у коді програми. Дана модель запропонована для ПАС, в яких допускаються простой. В роботі [10] запропонована модель ПАС для оцінки показників її надійності, в якій враховано оновлення ПЗ. Дана модель реалізована для систем, в яких передбачений простій. В роботі [12] запропонована надійнісна модель багатопроцесорної резервованої системи з спільними процесорами, в якій врахована тільки ненадійність апаратної частини ПАС.

Зауважимо, що у відомих публікаціях відсутні надійнісні моделі багатопроцесорної ПАС з загальним заміщувальним резервуванням та ковзним спільним резервом процесорів для обох багатопроцесорних систем, оновленням ПЗ та автоматичним перезавантаженням ПЗ, збої якого викликані збоями апаратних засобів. Вищесказане обумовлює актуальність задачі розробки надійнісної моделі такої ПАС.

3. Мета та задача дослідження

Метою даної роботи є підвищення точності оцінки показників надійності багатопроцесорної системи з загальним резервуванням та спільним ковзним резервуванням її процесорів з врахуванням двократного оновлення програмного забезпечення, а також автоматичного перезавантаження програмного забезпечення, збої в роботі якого викликані збоями апаратних засобів. Задачею є розробка надійнісної моделі досліджуваної відмовостійкої багатопроцесорної системи.

4. Модель ПАС з двократним оновленням програмного забезпечення та автоматичним його перезавантаженням після збоїв в його роботі, викликаних збоями апаратних засобів

Розглядається ПАС, для якої при оцінці показників надійності необхідно враховувати: відмови ПЗ; заміну ПЗ новими версіями, що приведе до зниження інтенсивності відмов ПЗ; затрати часу на перезавантаження ПЗ; збої ПЗ викликані збоями апаратних засобів; відмови АЗ. На рис. 1 представлено модель поведінки такої системи.

В ПАС присутні наступні стани: S1, S4 та S7 – стани, в яких система є працездатною; S2, S5 – стани в яких система є справною але непрацездатною, бо проводиться заміна версії ПЗ (стан простою); S3, S6, S8 – стани, в яких система не працездатна з причини збою ПЗ викликаного збоями АЗ, але проводиться перезавантаження ПЗ; S9, S10 – стани, в яких си-

стема не працездатна з причини відмови ПЗ (стани простою).

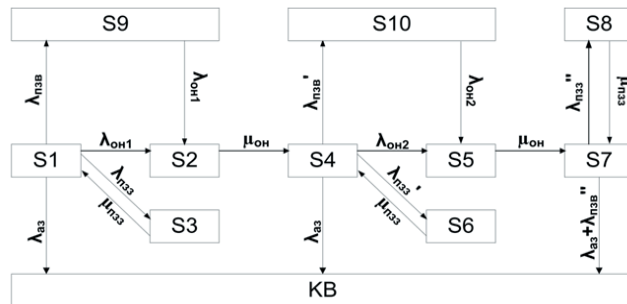


Рис. 1. Модель поведінки програмно-апаратної системи з двократним оновленням ПЗ та перезавантаженням ПЗ після збоїв в його роботі, викликаних збоями АЗ

В стані S1 можуть відбутися такі події: відмова ПЗ з інтенсивністю $\lambda_{ВПЗ}$, збої ПЗ викликані збоями АЗ з інтенсивністю $\lambda_{ЗПЗ}$, закінчення експлуатації першої версії ПЗ (бо готова до експлуатації друга (оновлена) версія ПЗ) з інтенсивністю $\lambda_{ОН1} = 1/T_{ОН1}$, де $T_{ОН1}$ - середнє значення тривалості розробки другої версії ПЗ (тривалість експлуатації першої версії ПЗ), а також відмова АЗ з інтенсивністю $\lambda_{АЗ}$. В стані S4 можуть відбутися такі події: відмова ПЗ з інтенсивністю $\lambda'_{ВПЗ}$, збої ПЗ викликані збоями АЗ з інтенсивністю $\lambda'_{ЗПЗ}$, закінчення експлуатації другої версії ПЗ (бо готова до експлуатації третя (оновлена) версія ПЗ) з інтенсивністю $\lambda_{ОН2} = 1/T_{ОН2}$ відповідно, де $T_{ОН2}$ - середнє значення тривалості розробки третьої версії ПЗ (тривалість експлуатації другої версії ПЗ), а також відмова АЗ з інтенсивністю $\lambda_{АЗ}$. В стані S7 може відбутися відмова ПЗ з інтенсивністю $\lambda''_{ВПЗ}$, збої ПЗ викликані збоями АЗ з інтенсивністю $\lambda''_{ЗПЗ}$ та відмова апаратних засобів (АЗ) з інтенсивністю $\lambda_{АЗ}$.

З працездатних станів S1, S4, S7 при збоях ПЗ, яке викликане збоями апаратних засобів, ПАС попадає в стани S3, S6, S8 відповідно. Закінчення процедури перезавантаження ПЗ відбувається з інтенсивністю $\mu_{ПЗ} = 1/T_{ПЕР}$, де $T_{ПЕР}$ - середнє значення тривалості перезавантаження ПЗ. Коли система перебуває в станах S2 та S5, то відбувається процедура вилучення з ПАС попередньої версії ПЗ і завантаження нової версії ПЗ з інтенсивністю $\mu_{ОН} = 1/T_{ОН}$, де $T_{ОН}$ - тривалості заміни версії ПЗ на ПАС. З станів S9, S10 система попадає в стани S2, S5 з інтенсивністю $\lambda_{ОН1} = 1/T_{ОН1}$, де $T_{ОН1}$ - середнє значення тривалості розробки другої версії ПЗ та інтенсивністю $\lambda_{ОН2} = 1/T_{ОН2}$, де $T_{ОН2}$ - середнє значення тривалості розробки третьої версії ПЗ відповідно.

Після введення в експлуатацію ПАС проводиться розробка другої версії ПЗ за час $T_{ОН1}$, в якій мають бути виправлені помилки не виявлені в першій версії ПЗ на етапі його тестування. За час $T_{ОН2}$ проводиться розробка третьої версії ПЗ. Оскільки при розробці нової версії ПЗ зменшується кількість помилок, то для їх виявлення необхідні більші затрати часу відповідно $T_{ОН2} > T_{ОН1}$. Вважаємо, що при випуску нової версії ПЗ зменшується кількість помилок, які можуть призвести до відмови ПЗ. Тобто інтенсивність відмов ПЗ зменшується з заміною версії ПЗ $\lambda'_{ВПЗ} < \lambda_{ВПЗ} < \lambda_{ВПЗ}$. А також буде зменшуватися інтенсивність збоїв ПЗ викликаних збоями АЗ ПЗ $\lambda''_{ЗПЗ} < \lambda'_{ЗПЗ} < \lambda_{ЗПЗ}$ з зміною версії ПЗ.

5. Модель відмовостійкої багатопроцесорної системи з комбінованим структурним резервуванням з врахуванням оновлення програмного забезпечення та його автоматичним перезавантаженням

5.1. Структура відмовостійкої багатопроцесорної системи

Виходячи з того, що ПАС повинна працювати безперервно, без втрати працездатності при відмовах процесорів та збоях ПЗ без зниження ефективності виконання заданої функції, використано загальне заміщувальне гаряче резервування.

Структурна схема відмовостійкої ПАС показана на рис. 2.

До її складу входять: основна багатопроцесорна система, яка складається з n – процесорів; резервна багатопроцесорна система, яка складається з k – процесорів; для обох багатопроцесорних систем передбачено спільне ковзне резервування процесорів, при цьому один (перший в черзі на використання) резервний процесор перебуває в гарячому резерві, а решта - в холодному; процесор контролю та діагностики визначає стан ПАС в апаратній та програмній частинах та подає команди для управління резервним ресурсом; пристрій комутації виконує функції підключення (або відключення) резервної багатопроцесорної системи, а також відключення несправних процесорів та підключення процесорів ковзного резерву.

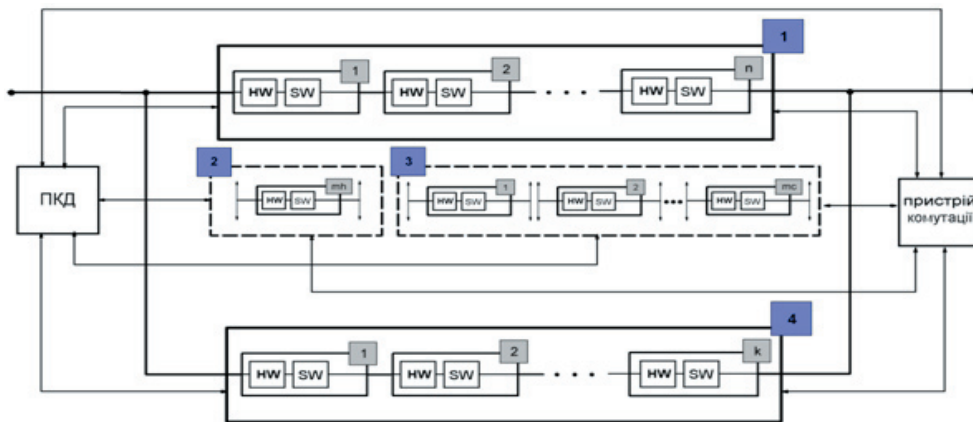


Рис. 2. Структурна схема відмовостійкої програмно-апаратної системи (1 - основна багатопроцесорна система, 2 - процесори, що знаходяться в гарячому резерві, 3 - процесори, що знаходяться в холодному резерві, 4 - резервна багатопроцесорна система, ПКД - процесор контролю та діагностики)

5.2. Структурно-автоматна модель відмовостійкої багатопроцесорної системи

Метод розробки надійнісної моделі відмовостійкої багатопроцесорної системи у вигляді графа станів та переходів, описаний у монографії [14], передбачає формалізоване представлення об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі. При розробці структурно-автоматної моделі необхідно: сформувати вербальну модель об'єкту дослідження; визначити базові події; визначити компоненти вектора стану, якими можна описати стан системи в довільний момент часу; вибрати параметри, якими можна описати систему; сформувати дерево правил модифікації компонент вектора стану.

5.2.1. Визначення базових подій для надійнісної моделі відмовостійкої багатопроцесорної системи

Відповідно до визначених процедур, які відповідають поведінці ПАС складається перелік подій, які відбуваються в даній відмовостійкій системі. Події відображають парами, що відповідає початку і закінченню часового інтервалу для кожної процедури. Для структурно-автоматної моделі вибираються базові події [11, с. 65]. В результаті проведеного аналізу визначено 18 базових подій, а саме: **подія 1.0** – «Відмова процесора основної багатопроцесорної системи (при виконанні цільової функції)»; **подія 2.0** – «Збій ПЗ процесора основної багатопроцесорної системи (при виконанні цільової функції)»; **подія 3.0** – «Відмова ПЗ процесора основної багатопроцесорної системи (при виконанні цільової функції)»; **подія 4.0** – «Відмова процесора резервної багатопроцесорної системи (при виконанні цільової функції)»; **подія 5.0** – «Збій ПЗ процесора резервної багатопроцесорної системи (при виконанні цільової функції)»; **подія 6.0** – «Відмова ПЗ процесора резервної багатопроцесорної системи (при виконанні цільової функції)»; **подія 7.0** – «Відмова процесора основної багатопроцесорної системи (система знаходиться в гарячому загальному заміщувальному резерві)»; **подія 8.0** – «Збій ПЗ процесора основної багатопроцесорної системи (система знаходиться в гарячому загальному заміщувальному резерві)»; **подія 9.0** – «Відмова ПЗ процесора основної багатопроцесорної системи (система знаходиться в гарячому загальному заміщувальному резерві)»;

подія 10.0 – «Відмова процесора резервної багатопроцесорної системи (система знаходиться в гарячому загальному заміщувальному резерві)»; **подія 11.0** – «Збій ПЗ процесора резервної багатопроцесорної системи (система знаходиться в гарячому загальному заміщувальному резерві)»; **подія 12.0** – «Відмова ПЗ процесора резервної багатопроцесорної системи (система знаходиться в гарячому загальному заміщувальному резерві)»; **подія 13.0** – «Відмова процесора ковзного резерву з завантаженням ПЗ»; **подія 14.0** – «Збій ПЗ процесора ковзного резерву з завантаженням ПЗ»; **подія 15.0** – «Відмова ПЗ процесора ковзного резерву з завантаженням ПЗ»; **подія 16.0** – «Закінчення процедури підключення процесора з холодного резерву в гарячий резерв»; **подія 17.0** – «Закінчення процедури відновлення працездатності ПЗ на процесорі з ознакою збою ПЗ шляхом перезавантаження»; **подія 18.0** – «Закінчення процедури оновлення версії програмного забезпечення».

5.2.2. Параметри відмовостійкої багатопроцесорної системи, які враховано в моделі

Для розробки надійнісної моделі відмовостійкої системи необхідно представити відповідні її параметри.

три, що характеризують структуру, а саме: n – кількість процесорів, що перебувають в складі основної багатопроцесорної системи; k – кількість процесорів, що перебувають в складі резервної багатопроцесорної системи; m_h – кількість процесорів гарячого резерву з завантаженням ПЗ; m_c – кількість процесорів холодного резерву з не завантаженням ПЗ; λ_{hw} – інтенсивність відмов одного процесора, який перебуває в складі основної (резервної) багатопроцесорної системи та в гарячому резерві; $\lambda_{sw0}, \lambda_{sw1}, \lambda_{sw2}$ – інтенсивність відмов першої, другої та третьої версії ПЗ відповідно; $\lambda_{swz0}, \lambda_{swz1}, \lambda_{swz2}$ – інтенсивність збоїв першої, другої та третьої версії ПЗ відповідно; T_{on1}, T_{on2} – середні значення тривалостей розробки другої та третьої версії ПЗ відповідно; T_{rec} – тривалість заміни версії ПЗ на ПАС; T_{down} – тривалість вивантаження ПЗ; T_{resm} – тривалість перезавантаження ПЗ на процесорі, що перебуває в непрацездатному стані з ознакою збою/відмови ПЗ.

5.3. Формування аналітичної моделі відмовостійкої багатопроцесорної системи

Структурно-автоматна модель дає можливість згідно алгоритму, запропонованого в монографії [11, с. 89], побудувати граф станів та переходів. При різних конфігураціях відмовостійкої багатопроцесорної системи граф станів та переходів буде мати параметри, які представлено в табл. 1. У зв'язку з громіздкістю графа-станів та переходів в статті його не представляємо.

Таблиця 1

Параметри графа станів та переходів для різних конфігурацій відмовостійкої системи

Конфігурація відмовостійкої системи	Кількість станів	Кількість переходів
$n=2; k=2; m_h=1; m_c=0;$	36	114
$n=2; k=2; m_h=1; m_c=1;$	90	322
$n=2; k=2; m_h=1; m_c=2;$	162	606
$n=2; k=2; m_h=1; m_c=3;$	252	966

Для першої конфігурації відмовостійкої системи (табл. 1) на основі графа станів та переходів, який має 36 станів та 114 переходів нижче наведена система лінійних диференційних рівнянь (СЛДР) (1). Розв'язання даної СЛДР дало можливість провести оцінку показників надійності відмовостійкої багатопроцесорної системи.

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\left(2 \times \lambda_{sw0} + \frac{4}{T_{on1}} + \frac{4}{T_{rec}} + 5 \times \lambda_{hw} + 5 \times \lambda_{sw0}\right) \times P_1(t) + \lambda_{hw} \times P_{21}(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= 2 \times \lambda_{hw} \times P_1(t) - \left(2 \times \lambda_{sw0} + \frac{4}{T_{on1}} + \frac{4}{T_{rec}} + 4 \times \lambda_{hw} + 4 \times \lambda_{swz0}\right) \times P_2(t) + \lambda_{hw} \times P_{12}(t) + 3 \times \lambda_{hw} \times P_{25}(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= 2 \times \lambda_{swz0} \times P_1(t) - \left(2 \times \lambda_{sw0} + \frac{4}{T_{on1}} + \frac{4}{T_{rec}} + 4 \times \lambda_{hw} + 4 \times \lambda_{swz0}\right) \times P_3(t) + 2 \times \lambda_{hw} \times P_{14}(t) + 3 \times \lambda_{sw0} \times P_{25}(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= \left(2 \times \lambda_{sw0} + \frac{4}{T_{on1}} + \frac{4}{T_{rec}}\right) \times P_1(t) - \left(2 \times \lambda_{sw1} + \frac{4}{T_{on2}} + \frac{4}{T_{rec}} + 5 \times \lambda_{sw} + 5 \times \lambda_{sw0}\right) \times P_4(t) + \lambda_{hw} \times P_{16}(t) \\ \dots \\ \frac{dP_{36}(t)}{dt} &= 2 \times \lambda_{hw} \times P_{20}(t) - 2 \times (\lambda_{hw} + \lambda_{sw2} + \lambda_{swz2}) \times P_{36}(t) \\ \sum_{i=1}^{36} P_i(t) &= 1 \end{aligned}$$

5.4. Приклад використання запропонованої моделі
Необхідно порівняти значення показників надійності ПАС з оновленням ПЗ, отриманих за допомогою моделей, які враховують та не враховують оновлення ПЗ.

Для цього визначено значення тривалості роботи ПАС, при якій ймовірність безвідмовної роботи відмовостійкої багатопроцесорної системи з врахуванням двократного оновлення та перезавантаження ПЗ на її процесорах $P_{6,p} \geq 0,99$.

Параметри моделі та результати дослідження представлено в таблиці 2. При проведенні дослідження розглянуто два варіанти значення параметрів оновлення ПЗ (табл. 2).

На рис. 3 представлені залежності ймовірності безвідмовної роботи відмовостійкої багатопроцесорної системи від тривалості її експлуатації, отримані за допомогою моделі без оновлення та з оновленням ПЗ, а саме: залежність 1 дає модель відмовостійкої багатопроцесорної системи з автоматичним перезавантаженням ПЗ та без врахування оновлення ПЗ [13]; залежності 2 і 3 дає модель відмовостійкої багатопроцесорної системи з врахуванням двох варіантів значень оновленого ПЗ (табл. 2) та автоматичним перезавантаженням ПЗ.

Таблиця 2

Параметри моделі та результат дослідження

Залежності показані на рис. 3:	залежність 1	залежність 2	залежність 3
Параметри моделі	$n=2; m=2; m_h=1; \lambda_{hw}=1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw0}=5 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw1}=3 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw2}=1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{swz0}=\lambda_{swz1}=\lambda_{swz2}=0,01 \text{ год}^{-1}; T_{down}=6 \text{ хв}; T_{resm}=6 \text{ хв}.$	$n=2; m=2; m_h=1; \lambda_{hw}=1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw0}=5 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw1}=3 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw2}=1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{swz0}=\lambda_{swz1}=\lambda_{swz2}=0,01 \text{ год}^{-1}; T_{on1}=2000 \text{ год}; T_{on2}=4000 \text{ год}; T_{rec}=12 \text{ хв}; T_{down}=6 \text{ хв}; T_{resm}=6 \text{ хв}.$	$n=2; m=2; m_h=1; \lambda_{hw}=1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw0}=5 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw1}=1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \lambda_{sw2}=7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}; \lambda_{swz0}=\lambda_{swz1}=\lambda_{swz2}=0,01 \text{ год}^{-1}; T_{on1}=2000 \text{ год}; T_{on2}=4000 \text{ год}; T_{rec}=12 \text{ хв}; T_{down}=6 \text{ хв}; T_{resm}=6 \text{ хв}.$
Текс при $P_{6,p} \geq 0,99$	6550 год	7850 год	8000 год

З результатів, поданих на рис. 3 і в табл. 2 видно, що значення тривалості експлуатації ПАС з оновленням ПЗ, при яких ймовірності безвідмовної роботи $P_{б.р.} \geq 0,99$ отримане за допомогою моделі без врахування оновлення ПЗ (залежність 1) є нижчою за значення тривалості експлуатації для ПАС з врахуванням двократного оновлення ПЗ (залежності 2 і 3).

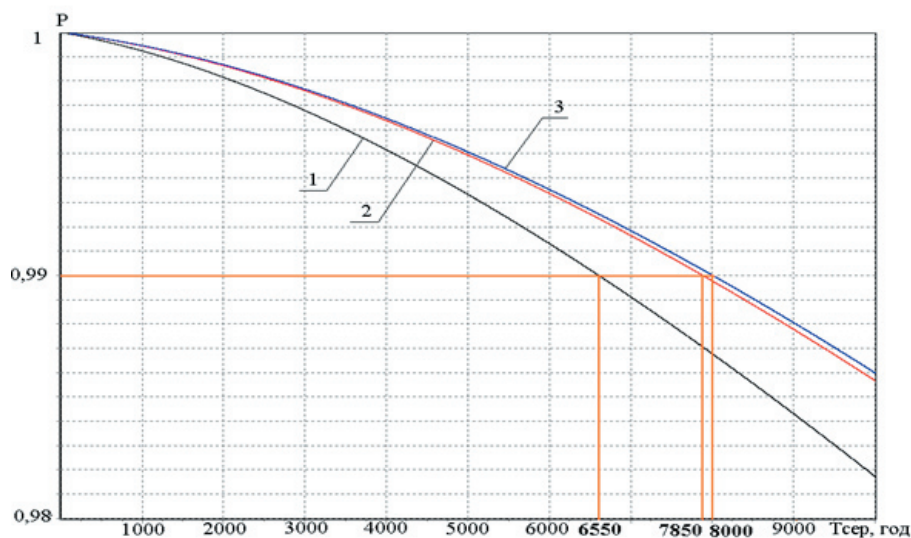


Рис. 3. Залежність ймовірності безвідмовної роботи відмовостійкої багатопроцесорної системи від тривалості її експлуатації

6. Висновки

В статті представлено надійнісну модель відмовостійкої багатопроцесорної системи, в якій враховано: двократне оновлення ПЗ; перезавантаження програмного забезпечення, збій в роботі якого був викликаний збоєм апаратних засобів. На основі проведених досліджень було встановлено вплив оновлення програмного забезпечення на показники надійності ВБС, зокрема

проведено порівняння середнього значення тривалості безвідмовної роботи ВБС, отриманого за допомогою запропонованої моделі з врахуванням оновлення програмного забезпечення і відомої моделі, в якій оновлення програмного забезпечення не враховано. На прикладі показано, що при оновленні програмного забезпечення середнє значення тривалості роботи до відмови системи збільшиться на 19,8% та 22,1% при двох різних наборах значень показників надійності програмного забезпечення, які представлені в табл. 2.

В подальших дослідженнях слід уточнити закон розподілу для тривалостей розробки програмного забезпечення.

Література

1. Mudry, P. A. CONFETTI: A reconfigurable hardware platform for prototyping cellular architectures. International Parallel and Distributed Processing Symposium [Текст] / Mudry, P. A., Vannel, E., Tempesti, G., Mange, D. – 2007. - P. 96–103.
2. Viktorov, O. Reconfigurable Multiprocessor System Reliability Estimation [Текст] / Viktorov, O. // Asian Journal of Information Technology. – 2007. - P. 958–960.
3. Rajesh, S. Fault Tolerance in Multicore Processors With Reconfigurable Hardware Unit. [Текст] / Rajesh, S., Vinoth Kumar C., Srivatsan, R., Harini, S., Shanthi, A. // 15th international conference on high performance computing: Bangalore, INDIA. -2008. - P. 166–171.
4. Amerijckx, C. A Low-Power Multiprocessor Architecture For Embedded Reconfigurable Systems [Текст] / Amerijckx, C., Legat, J.-D. // Power and Timing Modeling, Optimization and Simulation, International Workshop. – 2008. - P. 83–93.
5. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры [Текст] / И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2008. – 393 с.
6. Changyun, Zhu. Reliable multiprocessor system-on-chip synthesis [Текст] / Changyun Zhu, Gu, Z., Dick, R., Shang, L. // Proc. International Conference Hardware/Software Codesign and System Synthesis. – 2007. – P. 239–244.
7. Kim, P. Gostelow. The design of a fault-tolerant, realtime, multi-core computer system [Текст] / Kim, P. Gostelow. // In Aerospace Conference, IEEE. -2011. - P. 1–8.
8. Melson, N., James, D. (1983). Use of CYBER 203 and CYBER 205 computers for three-dimensional transonic flow calculations. National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Branch, 13 p.
9. Белый, Ю. А. Модели отказов и оценка надежности мультидиверсных систем [Текст] / Ю. А. Белый // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – №5 (32). – С. 62 – 66.
10. Коротун, Т.М. Моделі і методи тестування програмних систем / Т.М. Коротун // Проблеми програмування. – 2007. – № 2. – С. 76 – 84.
11. Волочій, Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б. Ю. Волочій. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.
12. Романкевич, В.О. Про розрахунок надійності відмовостійких багатопроцесорних систем, підсистеми яких мають спільні процесори / В.О. Романкевич, А.П. Фесенюк // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №3 (44). – С. 62-67
13. Волочій, Б. Ю. Оцінка показників надійності програмно-апаратної системи на основі мажоритарної структури з перезавантаженням програмного забезпечення / Б. Ю. Волочій, М. М. Змисний, О. В. Муляк. – Збірник тез доповідей ІХ науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку економіки, підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні». – Львів, 2013. – С. 503 – 507.