

УДК 004.519.217

**В. С. ХАРЧЕНКО<sup>1</sup>, Ю. Л. ПОНОЧОВНИЙ<sup>1,2</sup>, А. В. БОЯРЧУК<sup>1</sup>,  
І. О. ЧЕРНИЦЬКА<sup>2</sup>, В. С. ВОРОНЯНСЬКИЙ<sup>3</sup>**<sup>1</sup> *Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»*<sup>2</sup> *Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*<sup>3</sup> *Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*

## ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ З УСУНЕННЯМ ПРОГРАМНИХ ДЕФЕКТІВ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ОНЛАЙН-ВЕРИФІКАЦІЇ

У статті досліджено багатофрагментну модель двоканальної (дубльованої) інформаційно-керуючої системи пілотованого космічного апарату. При побудові моделі враховано проведення оперативної онлайн-верифікації окремих функцій програмних засобів в процесі експлуатації системи з подальшим усуненням виявлених програмних дефектів. Запропоновано алгоритм побудови моделі на основі визначення множин станів і механізмів взаємодії. Для оцінювання функції готовності виконано розрахунок і дослідження марковської моделі для різних наборів вихідних даних. За результатами моделювання зроблено висновки про вплив часових параметрів проведення онлайн-верифікації на швидкість усунення дефектів і мінімальне значення функції готовності.

**Ключові слова:** багатофрагментне моделювання, оперативна онлайн-верифікація, дефекти програмних засобів.

### Вступ

Оцінювання якості програмних засобів (ПЗ), критичних з точки зору впливу на працездатність та безпеку космічних систем, необхідно здійснювати з урахуванням низки притаманних їм особливостей, зокрема, з огляду на можливості (з одного боку) та обмеження (з іншого) модифікації ПЗ в процесі експлуатації космічного апарату і комплексу [1].

Розроблення критичних ПЗ є вартісним процесом. Питома частина витрат пов'язана зі створенням програмного коду, верифікацією та валідацією [2]. Висока вартість випробувань обумовлена необхідністю моделювання в наземних умовах середовища відкритого космічного простору. Застосування на космічних апаратах (КА) програмних засобів з можливістю їх модифікації дозволяє більш гнучко розподіляти зусилля та витрати на верифікацію. Деякі некритичні функції доцільно оперативно верифікувати у режимі онлайн після запуску КА, при його експлуатації. Однак, з огляду на критичність ПЗ, відповідні обмеження, вибір такої стратегії верифікації необхідно попередньо обґрунтувати за допомогою математичних моделей.

Методологічні основи планування та проведення оперативної корегувальної онлайн-верифі-

кації (ОКВ) сформовано у [3]. Зокрема, обґрунтовано сценарії проведення ОКВ, які є базою для побудови комплексу марковських моделей функціонування інформаційно-керуючих систем (ІКС) КА. В процесі ОКВ можливі два шляхи усунення виявлених дефектів: обмеження використання ділянки коду, який вміщує дефект (при цьому обмежується використання системних функцій) та он-лайн модифікація програмного коду з усуненням виявленого дефекту. У [3] також розглядається процес оновлення ПЗ з модифікацією програмного коду.

Враховання зміни інтенсивності відмов ПЗ здійснюється за допомогою апарату регулярних багатофрагментних марковських моделей (РБФМ). У ряді статей досліджено багатофрагментні моделі ІКС КА, що дозволяють врахувати оновлення ПЗ [4], проведення оперативної верифікації з подальшим обмеженням системних функцій [5].

Аналіз математичного апарату марковського моделювання критичних систем зі змінними параметрами [6], інформаційної та кібербезпеки веб-додатків [7], систем високої готовності [8] дозволяє виокремити його переваги у порівнянні з байєсовським аналізом [9] та імітаційним моделюванням [10].

Метою даного дослідження є розроблення та аналіз моделі готовності ІКС пілотованих КА при проведенні оперативної корегувальної онлайн-

верифікації програмних функцій з подальшим усуненням дефектів ПЗ. Запропоновано методику побудови моделі на основі визначення множин станів і механізмів взаємодії. Для оцінювання функції готовності розроблено та досліджено марковську модель для різних наборів вихідних даних.

## 1. Основні допущення моделювання

Для побудови моделі готовності ІКС КА прийнято наступні допущення:

- розглядається найбільш поширена архітектура ІКС КА, яка включає два резервованих апаратних канали, в кожному з яких функціонує однакова версія ПЗ; відновлення апаратних каналів можливе для пілотованих КА;

- ІКС в будь-який момент часу може знаходитися або в працездатному, або в непрацездатному стані, а потоки подій, які переводять систему з одного функціонального стану в інший - найпростіші;

- відновлення ІКС після відмови, обумовленої програмним дефектом здійснюється шляхом перезапуску ПЗ;

- в процесі використання ІКС виконується верифікація програмних функцій, цей стан при оцінюванні готовності розглядається як непрацездатний;

- дефект ПЗ усувається тільки після закінчення процедури верифікації, функціональність системи не втрачається;

- після прояву дефектів ПЗ, деградація програмних функцій не відбувається; система здатна відновлюватися після відмови і продовжувати функціонування з виявленим дефектом.

## 2. Марковська модель готовності ІКС КА

З урахуванням допущень, для дослідження ІКС КА використано марковський аналіз. Граф базової РБФМ зображений на рис. 1. Через певний часовий інтервал відбувається відмова системи, обумовлена

програмним дефектом, і вона переходить в стан  $S_3$  (за умови справності двох апаратних каналів), або в  $S_4$  (за умови справності одного з апаратних каналів). Після прояву дефекту ПЗ, система перезавантажується і продовжує функціонувати з даним дефектом (що моделюється переходами  $S_3 - S_0$  і  $S_4 - S_1$ ). Через певний часовий інтервал виконується оперативна коригувальна верифікація частини програмних функцій, система переходить в стан  $S_5$ . Впродовж проведення процедур верифікації з ймовірністю  $D$  можливе виявлення й усунення програмного дефекту, внаслідок чого система переходить до стану наступного фрагменту РБФМ (стан  $S_{6i}$ ), який характеризується новим параметром  $\lambda_{swi}$ . В останньому фрагменті моделі всі програмні дефекти усунено, і в системі відбуваються тільки відмови апаратних засобів.

Система диференціальних рівнянь Колмогорова для моделі готовності, граф якої зображений на рис. 1 має початкові умови:  $P_0(0)=1$ ;  $P_i(0)=0$ ,  $i=1 \dots 6k+2$ . Крім того, має справедлива умова нормування:

$$\sum_{i=0}^6 P_i(t) = 1.$$

Система складається з наступних регулярних блоків:

– для початкового фрагменту  $F_0$ :

$$dP_0(t)/dt = -(2\lambda_{HW} + \lambda_{SW} + \lambda_{VER})P_0(t) + \mu_{HW}P_1(t) + \mu_{SW}P_3(t) + (1-D)\mu_{VER}P_5(t),$$

$$dP_1(t)/dt = -(\lambda_{HW} + \lambda_{SW} + \mu_{HW})P_1(t) + 2\lambda_{HW}P_0(t) + 2\mu_{HW}P_2(t) + \mu_{SW}P_4(t),$$

$$dP_2(t)/dt = -2\mu_{HW}P_2(t) + \lambda_{HW}P_1(t),$$

$$dP_3(t)/dt = -\mu_{SW}P_3(t) + \lambda_{SW}P_0(t),$$

$$dP_4(t)/dt = -\mu_{SW}P_4(t) + \lambda_{SW}P_1(t),$$

$$dP_5(t)/dt = -\mu_{VER}P_5(t) + \lambda_{VER}P_0(t);$$

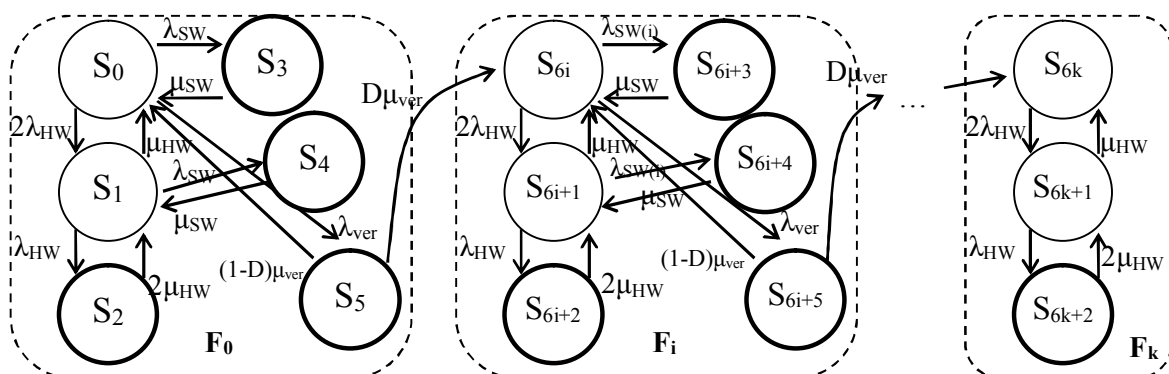


Рис. 1. Розмічений граф станів і переходів ІКС КА з урахуванням повного усунення програмних дефектів в процесі послідовного проведення процедур оперативної верифікації

– для останнього фрагменту Fk:

$$\begin{aligned} dP_{6,k}(t)/dt &= -2\lambda_{HW}P_{6,k}(t) + \\ &+ \mu_{HW}P_{6,k+1}(t) + D\mu_{VER}P_{6,k-1}(t), \\ dP_{6,k+1}(t)/dt &= -(\lambda_{HW} + \mu_{HW})P_{6,k+1}(t) + \\ &+ 2\lambda_{HW}P_{6,k}(t) + 2\mu_{HW}P_{6,k+2}(t), \\ dP_{6,k+2}(t)/dt &= -2\mu_{HW}P_{6,k+2}(t) + \lambda_{HW}P_{6,k+1}(t); \end{aligned}$$

– для внутрішніх фрагментів Fi:

$$\begin{aligned} dP_{6i}(t)/dt &= -\left(2\lambda_{HW} + \lambda_{SW(i)} + \lambda_{VER}\right)P_{6i}(t) + \\ &+ \mu_{HW}P_{6i+1}(t) + \mu_{SW}P_{6i+3}(t) + \\ &+ (1-D)\mu_{VER}P_{6i+5}(t) + D\mu_{VER}P_{6i-1}(t), \\ dP_{6i+1}(t)/dt &= -\left(\lambda_{HW} + \lambda_{SW(i)} + \mu_{HW}\right)P_{6i+1}(t) + \\ &+ 2\lambda_{HW}P_{6i}(t) + 2\mu_{HW}P_{6i+2}(t) + \mu_{SW}P_{6i+4}(t), \\ dP_{6i+2}(t)/dt &= -2\mu_{HW}P_{6i+2}(t) + \lambda_{HW}P_{6i+1}(t), \\ dP_{6i+3}(t)/dt &= -\mu_{SW}P_{6i+3}(t) + \lambda_{SW(i)}P_{6i}(t), \\ dP_{6i+4}(t)/dt &= -\mu_{SW}P_{6i+4}(t) + \lambda_{SW(i)}P_{6i+1}(t), \\ dP_{6i+5}(t)/dt &= -\mu_{VER}P_{6i+5}(t) + \lambda_{VER}P_{6i}(t). \end{aligned}$$

Тут i – номери внутрішніх фрагментів;

k – номер останнього фрагменту.

Функція готовності обчислюється за виразом:

$$A(t) = \sum_{i=0}^k [P_{6,i}(t) + P_{6,i+1}(t)].$$

### 3. Обґрунтування вихідних даних

В ході проведення досліджень з метою виявлення характеру зміни поведінки функції готовності, частина вихідних параметрів моделі мала фіксовані значення, інші параметри змінювалися в межах заданих інтервалів значень. Також при моделюванні можливо виділити «базисні» значення вихідних параметрів, що змінюються. Фіксовані, «базисні» значення і діапазон змінних параметрів зведені в таблицю 1.

Для дослідження моделей було розроблено програмні конструкції в системі Matlab. Для побудови матриці системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена використовується функція matrixA [3]. Для вирішення системи диференціальних рівнянь застосовано вбудований вирішувач Matlab ode15s.

Таблиця 1

Значення вихідних параметрів моделі

| Параметр моделі                | Постійність параметру | Значення/ базисне значення | Діапазон зміни                                |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| $\lambda_{HW}$ (1/годин)       | const                 | $3 \cdot 10^{-4}$          | -   |
| $\mu_{HW}$ (1/годин)           | const                 | 1                          | -   |
| $\lambda_{SW\ 0}$ (1/годин)    | const                 | $4 \cdot 10^{-3}$          | -   |
| $\lambda_{SW\ k}$ (1/годин)    | const                 | 0                          | -   |
| $\mu_{SW}$ (1/годин)           | const                 | 2                          | -   |
| $\Delta\lambda_{SW}$ (1/годин) | var                   | $5 \cdot 10^{-4}$          | $[1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-4}]$     |
| D                              | var                   | 0,8                        | $[0,6 \dots 1]$                               |
| $\lambda_{ver}$ (1/годин)      | var                   | $4,63 \cdot 10^{-4}$       | $[1,4 \cdot 10^{-3} \dots 2,3 \cdot 10^{-4}]$ |
| $\mu_{ver}$ (1/годин)          | var                   | 2                          | $[1 \dots 3]$                                 |

### 4. Аналіз результатів моделювання

Результати моделювання представлено у вигляді графіків на рис. 2 - рис. 4. Аналіз графіків на рис. 2 показав, що значення параметра  $\Delta\lambda_{sw}$  суттєвіше впливає на швидкість усунення дефектів і практично не впливає на величину мінімуму функції готовності на початковому етапі експлуатації системи.

Також очевидно, що для прийнятих значень вихідних параметрів, готовність системи з оперативною верифікацією після 2500 годин експлуатації перевищить готовність ІКС без верифікації (при  $\Delta\lambda_{sw} = 5 \cdot 10^{-4}$  1/годин).

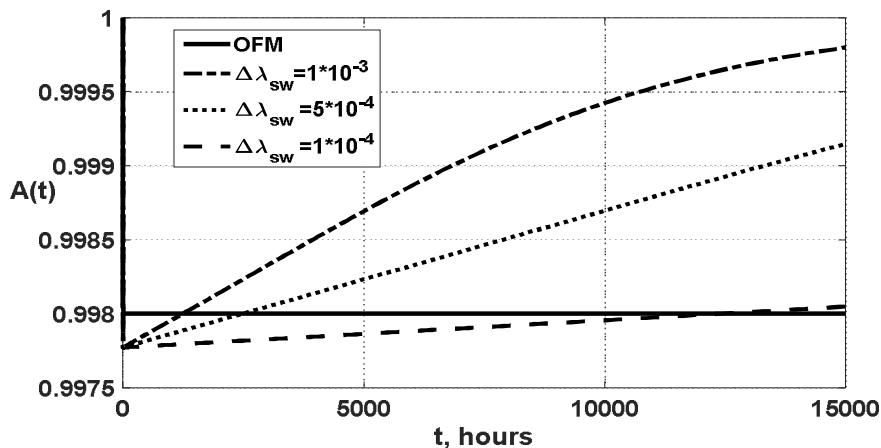


Рис.2. Порівняння графіків функції готовності ІКС КА без оперативної верифікації (OFM) і отриманих за допомогою РБФМ при різних значеннях параметра  $\Delta\lambda_{sw}$

Відповідно до рис. 3, а з'ясуємо, що з підвищенням ймовірності виявлення дефектів при оперативній верифікації ПЗ готовність системи буде збільшуватися на кінці часового інтервалу дослідження моделі (7500 ... 15000 годин). Крім того, значення параметра  $D$  ніяк не впливає на величину мінімуму функції готовності. Відповідно до рис. 3, б значення параметра  $\mu_{\text{ver}}$  суттєво впливає на величину мінімуму функції готовності й на швидкість її переходу в стаціонарний режим.

Аналіз графіків на рис.4 засвідчує, що значення параметра  $\lambda_{\text{ver}}$  одночасно впливає на величину мінімуму функції готовності й на швидкість її переходу в стаціонарний режим. Крім того, слід підкреслити наявність точок оптимальності за параметром  $\lambda_{\text{ver}}$ , коли при значенні  $\lambda_{\text{ver}} = 1,39 \cdot 10^{-3}$  готовність системи без обмеження функціонала після 7500 годин експлуатації стає більше, ніж у системи, в якій для усунення програмних дефектів обмежуються її функції (використано результати [4]).

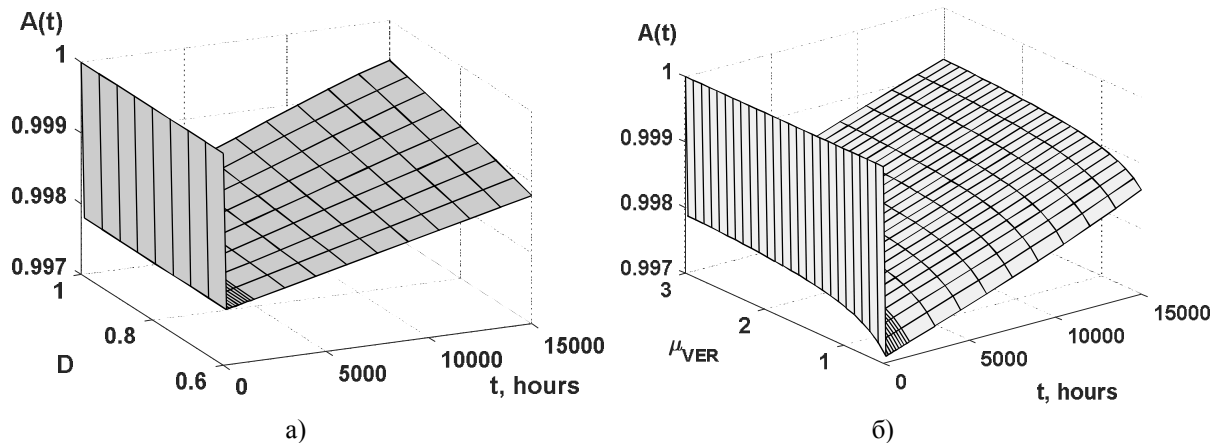


Рис. 3. Порівняння графіків функції готовності ІКС КА, отриманих за допомогою РБФМ для різних значень параметрів  $D$  (а) і  $\mu_{\text{ver}}$  (б)

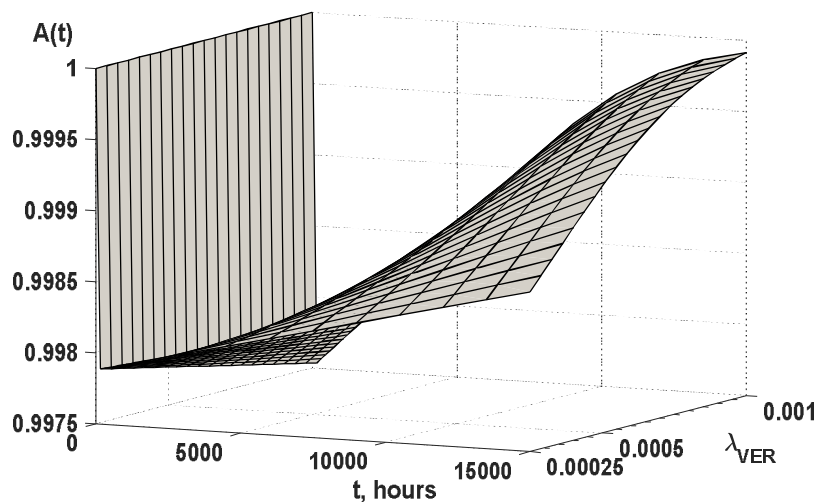


Рис. 4. Графік зміни у часі функції готовності ІКС КА для РБФМ при різних значеннях параметра  $\lambda_{\text{ver}}$

## Висновки

У статті розроблено багатофрагментну модель готовності ІКС КА з урахуванням проведення оперативної онлайн-верифікації з подальшим усуненням програмних дефектів без обмеження функціонала системи. Аналіз результатів моделювання го-

товності ІКС космічного апарату при проведенні такої верифікації програмних функцій показав, що:

а) для прискорення переходу функції готовності в стаціонарний стан слід підвищувати значення параметрів  $\Delta\lambda_{\text{sw}}$  і  $\lambda_{\text{ver}}$ , тобто частіше проводити онлайн-верифікацію та намагатися усунути більшу кількість програмних дефектів впродовж перевірки;

б) у початковий період експлуатації готовність систем з плановим проведенням оперативної верифікації нижча, ніж у систем без усунення дефектів ПЗ;

в) підвищити готовність у цей період можна збільшуючи значення параметра  $\mu_{\text{ver}}$ , тобто, прискоривши відновлення працездатного стану системи або (що може бути досліджено більш ретельно) у період пасивного польоту, або покроково за декілька спроб.

Подальші дослідження слід спрямувати на розроблення і дослідження стратегій гнучкої онлайн-верифікації, а також інструментальних засобів оцінки і управління готовністю ІКС КА за фактичним станом і результатами усунення дефектів з можливою деградацією частини нежиттєважливих функцій.

## Література

1. *Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов [Текст] / В. В. Кульба, Е. А. Микрин, Б. В. Павлов, В. Н. Платонов ; под ред. Е. А. Микрина ; Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова РАН. – М. : Наука, 2006. – 579 с.*

2. *ECSS-Q-ST-40C Rev.1. Space product assurance. Safety (Гарантия продукции космического назначения. Безопасность) [Текст]. – Нордвijk : Европейская комиссия по космической стандартизации, 2017. – 79 с.*

3. *Kharchenko, V. S. Availability Assessment of Information and Control Systems with Online Software Update and Verification [Text] / Vyacheslav S. Kharchenko, Yuriy Ponochovnyi, Artem Boyarchuk ; Ermolayev, V., Mayr, H. C., Nikitchenko, M., Spivakovsky, A., Zholtkevych, G. (eds.) // Information and Communication Technologies in Education, Research and Industrial Applications. – Berlin-Heidelberg : Springer Verlag. – 2014. – CCIS Vol. 469. – P. 300-324.*

4. *Поночовный, Ю. Л. Модели готовности двухканальной ИУС с учетом обновления программных средств [Текст] / Ю. Л. Поночовный, А. А. Сиора, В. С. Харченко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 6. – С. 135-139.*

5. *Засуха, С. А. Модель готовности двухканальной ИУС космического аппарата с оперативной верификацией программных средств [Текст] / С. А. Засуха, Ю. Л. Поночовный // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – Вип.2 (6). – С. 144-149.*

6. *Combination of safety integrity levels (SILs): A study of IEC61508 merging rules [Text] / Y. Langeron, A. Barros, A. Grall, C. Berenguer // Journal of Loss*

*Prevention in the Process Industries. – 2008. – 21(4). – P. 437-449.*

7. *Sensitivity Analysis of Server Virtualized System Availability [Text] / R. Matos, P. Maciel, F. Machida, Dong Seong Kim, K. Trivedi // IEEE Transactions on Reliability. – Vol. 61, Iss.4. – 2012. – P. 994-1006.*

8. *Dependability and security models [Text] / K. S. Trivedi, D. S. Kim, A. Roy and D. Medhi // Design of Reliable Communication Networks, 2009. DRCN 2009. 7th International Workshop on, Washington, DC, 2009. – P. 11-20.*

9. *Gashi, I. Uncertainty Explicit Assessment of Off-The-Shelf Software: A Bayesian Approach [Text] / I. Gashi, P. Popov, V. Stankovic // Elsevier Journal of Information and Software Technology, Elsevier. – 2009. – No. 51(2). – P. 497-511.*

10. *Rotaru, T. Service-oriented middleware for financial Monte Carlo simulations on the cell broadband engine [Text] / T. Rotaru, M. Dalheimer, F.-J. Pfreundt. – Concurrency and Computation: Practice and Experience, John Wiley & Sons Ltd, 2009. – P. 643-657.*

## References

1. *Kul'ba, V. V., Mikrin, E. A., Pavlov, B. V., Platonov, V. N. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya informacionno-upravljajushhih sistem kosmicheskikh apparatov [Theoretical bases of designing of information-control systems of space vehicles]. Moskva: Nauka Publ., 2006. 579 p.*

2. *. Space product assurance. Safety, ECSS-Q-ST-40C Rev.1. Noordwijk, The Netherlands, ESA Requirements and Standards Division Publ., 2017. 79 p.*

3. *Kharchenko, V., Ponochovnyi, Y. and Boyarchuk, A. Availability Assessment of Information and Control Systems with Online Software Update and Verification. Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications, CCIS vol. 469, 2014, pp. 300-324.*

4. *Ponochovnyj, Y., Kharchenko, V., Siora, A. Modeli gotovnosti dvuhkanal'noj IUS s uchetom obnovenija programmnyh sredstv [Availability models of a two-channel ICS in view of updating software], Radioelectronic and computer systems, vol. 6, 2014, pp. 135-139.*

5. *Zasuha, S., A. Ponochovnyj, Y. Model' gotovnosti dvuhkanal'noj IUS kosmicheskogo apparata s operativnoy verifikaciej programmnyh sredstv [Availability model of a two-channel ICS of a spacecraft with operational verification of software]. Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny, vol. 2, iss. 6, 2011, pp. 144-149.*

6. *Langeron, Y., Barros, A., Grall, A. and Bérenguer, C. Combination of safety integrity levels (SILs): A study of IEC61508 merging rules. Journal of Loss*

*Prevention in the Process Industries*, vol. 21, iss.4, 2008, pp. 437-449.

7. Matos, R., Maciel, P., Machida, F., Dong Seong Kim and Trivedi, K. Sensitivity Analysis of Server Virtualized System Availability. *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 61, iss. 4, 2012, pp. 994-1006.

8. Trivedi, K., Kim, D., Roy, A. and Medhi, D. Dependability and security models. *2009 7th International Workshop on Design of Reliable*

*Communication Networks*, Washington, DC, 2009, pp. 11-20.

9. Gashi, I., Popov, P. and Stankovic, V. Uncertainty explicit assessment of off-the-shelf software: A Bayesian approach. *Information and Software Technology*, vol. 51, iss. 2, 2009, pp. 497-511.

10. Rotaru, T., Dalheimer, M. and Pfreundt, F. Service-oriented middleware for financial Monte Carlo simulations on the cell broadband engine. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2009, pp. 643-657.

*Поступила в редакцію 1.09.2017, рассмотрена на редколлегии 14.09.2017*

### ОЦЕНИВАНИЕ ГОТОВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УСТРАНЕНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ДЕФЕКТОВ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОНЛАЙН-ВЕРИФИКАЦИИ

*В. С. Харченко, Ю. Л. Поночовный, А. В. Боярчук,  
И. А. Черницкая, В. С. Воронянский*

В статье исследована многофрагментная модель двухканальной информационно-управляющей системы пилотируемого космического аппарата. При построении модели учтено проведение оперативной онлайн-верификации отдельных функций программных средств в процессе эксплуатации системы с последующим устранением выявленных программных дефектов. Предложен алгоритм построения модели на основе определения множества состояний и механизмов взаимодействия. Для оценки функции готовности выполнены расчёт и исследования марковской модели для различных наборов входных данных. По результатам моделирования сделаны выводы о влиянии временных параметров проведения верификации на скорость устранения дефектов и минимальное значение функции готовности.

**Ключевые слова:** многофрагментное моделирование, оперативная онлайн-верификация, дефекты программных средств.

### THE SPACE INFORMATION AND CONTROL SYSTEM AVAILABILITY ASSESSMENT CONSIDERING ELIMINATION OF SOFTWARE FAULTS AFTER ON-LINE VERIFICATION

*V. S. Kharchenko, Y. L. Ponochovnyi, A. V. Boyarchuk,  
I. O. Chernitska, V. S. Voronianskyi*

The paper deals the multi-fragmental model of the two-channel space on-board information and control system of piloted spaceship. The model describes process of on-line software verification considering subsequent elimination of detected software faults. To take into account the change of software failure rate, the apparatus of regular multi-fragmental Markov's models is used. The algorithm of determining sets of state fragments, states, transitions is proposed. It is considered the most widespread architecture of the information-control system, which includes two redundant hardware channels. Each channel has the same software version. After a failure caused by software faults, the information and control system is restored by restarting. Particularity of the researched system is performing of on-line software verification during its operation. The state of verification is considered as down-state on availability assessing. After onset software faults, degradation of program functions does not occur. The system is recovered after the failed state and continues functioning. For the estimation of the availability function, the Markov's model for different sets of input data is researched. For that Matlab programs were developed. To solve the system of differential equations, an embedded Matlab ode15s solver is used. It is revealed that with increasing probability of faults detection during on-line software verification, the availability of the system will increase at the end of the time interval of the model study. In order to accelerate the transition of the availability to stationary state, it is necessary to carry out more frequent verification procedures and try to eliminate a greater number of software faults in one check. In the initial period of operation, the availability of systems with planned on-line verification is lower than that of systems without fixing software faults. According to the results of the simulation, conclusions about the influence of the time parameters of the verification on the fault elimination intensity and the minimum of availability functions are formulated.

**Keywords:** space system, multifragmental Markov's model, on-line verification, software faults.

**Харченко Вячеслав Сергійович** – заслужений винахідник України, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: V.Kharchenko@csn.khai.edu.

**Поночовний Юрій Леонідович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедри комп'ютерної інженерії, Полтавський нац. техн. університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава, Україна; докторант кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: yuriy.ponch@gmail.com.

**Боярчук Артем Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: a.boyarchuk@khai.edu.

**Черницька Ілона Олександрівна** – асистент кафедри комп'ютерної інженерії, Полтавський нац. техн. університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава, Україна, e-mail: chernytska.ilona@gmail.com.

**Воронянський Володимир Станіславович** – викладач, Полтавський коледж нафти і газу Полтавського нац. техн. університету ім. Ю. Кондратюка, Полтава, Україна, e-mail: voronjanskij.v@i.ua.

**Kharchenko Vyacheslav Sergijovych** – Honored inventor of Ukraine, Doctor of Science on Engineering, Professor, Head of the Department of Computer Systems and Networks, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: V.Kharchenko@csn.khai.edu.

**Ponochovnyi Yuriy Leonidovych** – Ph.D., Senior researcher, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Poltava National Technical University named after Y. Kondratyuk, Poltava, Ukraine; DrS student of the Department of Computer Systems and Networks, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: yuriy.ponch@gmail.com.

**Boyarchuk Artem Volodymyrovych** – Ph.D., Associate professor of the Department of Computer Systems and Networks, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.boyarchuk@khai.edu.

**Chernytska Ilona Oleksandrivna** – Assistant of the Department of Computer Engineering, Poltava National Technical University named after Y. Kondratyuk, Poltava, Ukraine, e-mail: chernytska.ilona@gmail.com.

**Voronianskyi Volodymyr Stanislavovych** – Lecturer of Poltava College of Oil and Gas, Poltava National Technical University named after Y. Kondratyuk, Poltava, Ukraine, e-mail: voronjanskij.v@i.ua.