

УДК 519.1

<https://doi.org/10.17721/1812-5409.2021/4.18>

Собчук В. В.¹, д.т.н., доц.,
Замрій І.В.², к.ф.-м.н., доц.
Барабаш О. В.³, д.т.н., проф.,
Мусієнко А. П.⁴, д.т.н., доц.

V. V. Sobchuk¹, D.Sc., Associate Professor,
I. V. Zamrii², Cand. of Phys. and Math. Sc. (Ph.D.),
Associate Professor,
O. V. Barabash³, D.Sc., Professor,
A. P. Musienko⁴, D.Sc., Associate Professor.

Методологія побудови функціонально стійкої інтелектуальної інформаційної системи виробничого підприємства

Methodology for building a functionally stable intelligent information system of a manufacturing enterprise

¹ Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 01033, Київ,
вул. Володимирська, 64,

² Державний університет телекомунікацій,
03141, м. Київ, вул. Солом'янська, 7,

^{3,4} Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», 03056, м. Київ, вул.
Політехнічна, 6, корпус 5.

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Ukraine 01033, Kyiv, Vladimirska street, 64,

² State University of Telecommunications, 03141,
Kyiv, Solomianska street, 7,

^{3,4} National Technical University of Ukraine «Kyiv
Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»,
03056, Kyiv, Polytechnic street, 6, building 5.

e-mail: ¹v.v.sobchuk@gmail.com ²irinafraktal@gmail.com ³bar64@ukr.net ⁴musienkoandrey@gmail.com

В роботі удосконалено методику забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної інформаційної системи підприємства, за рахунок представлення функціонування системи у вигляді формалізованого процесу, в якому основними типами процедур є накопичення перевірок, аналіз перевірочних зв'язків, діагностування модуля, що відмовив та відновлення функціонування системи. Зазначена методика дозволяє забезпечити властивість функціональної стійкості інформаційної системи підприємства.

Ключові слова: функціональна стійкість, достовірність виявлення несправності, ймовірність відновлення працездатності, час відновлення працездатності.

The article analyzes the concept of process management in an industrial enterprise, which provides functional stability of technological processes using information systems of various types and allows to increase productivity of all production centers while reducing the number of people employed in production and the impact of various destabilizing factors. The research of existing mathematical models of functionally stable complex technical systems and formalization of the main types of procedures of the process of functioning of the intellectual information system of the enterprise is carried out. The method of ensuring the properties of functional stability of the intelligent information system of the enterprise is improved by presenting the functioning of the system in the form of a formalized process, in which the main types of procedures are accumulation of tests, analysis of test links, diagnosing a failed module and restoring the system. This technique allows to ensure the property of functional stability of the information system of the enterprise.

Key Words: functional stability, reliability of detection of malfunction, probability of restoration of working capacity, time of restoration of working capacity.

Розвиток сучасного суспільства вимагає інтенсивного розвитку інформаційних технологій з високим ступенем автономності. Особливо гостро ця проблематика стосується виробничих підприємств, які функціонують в умовах впливу екстремальних факторів. Серед таких

підприємств вирізняються підприємства металургії, енергетики, хімічної промисловості тощо. Функціонування виробничих підрозділів таких підприємств забезпечують інформаційні системи різного типу. За допомогою цих систем здійснюється планування та контроль усіх

процесів [1, 2]. Вони працюють в автономному режимі під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів [3, 4].

Огляд останніх досліджень та публікацій. Аналіз умов побудови та функціонування інформаційної системи з розподіленими у просторі динамічними об'єктами управління показав, що відомі властивості складних технічних систем, такі як надійність, живучість, стійкість, в цілому характеризують функціонування інформаційної системи при дії відмов і збоїв, але не дозволяють повною мірою описати процеси функціонування в умовах значних руйнувань, дії потоків відмов і несправностей, можливих умисних дій, а також помилок обслуговуючого персоналу чи інших внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих чинниках [5, 6]. Тому, доцільно розглядати таку властивість складних технічних систем, як функціональна стійкість. Функціональна стійкість будь якої розподіленої інформаційної системи – це її властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати необхідні функції протягом заданого інтервалу часу або наробітку в умовах відмов складових частин через зовнішні і внутрішні дестабілізуючі впливи. Функціональна стійкість забезпечується застосуванням у складній технічній системі різних, вже існуючих видів надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної та ін.) шляхом їх перерозподілу з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій [7-9].

За допомогою інформаційних систем можна забезпечити підвищення продуктивності праці усіх виробничих центрів при зменшенні числа зайнятих у виробництві людей та значному зменшенні частки ручної праці [6, 10]. За негативного впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів модулі систем можуть виходити з ладу. Проте, системи повинні функціонувати в автономному режимі протягом заданого часу. Під зовнішніми та внутрішніми дестабілізуючими факторами розуміються відмови, збої модулів системи, механічні пошкодження, теплові впливи, помилки обслуговуючого персоналу. Основними етапами забезпечення функціональної стійкості є виявлення модуля, який відмовив при контролі, діагностування модуля, який відмовив та відновлення функціонування інформаційної системи підприємства [10-12].

Мета статті. Відтак однією з найголовніших передумов є забезпечення функціональної

стійкості інтелектуальної інформаційної системи підприємства [13, 14]. Для цього чи не найефективнішим підходом є застосування певної методики забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи підприємства, за рахунок представлення функціонування системи у вигляді формалізованого процесу, в якому основними типами процедур є накопичення перевірок, аналіз перевірочних зв'язків, діагностування модуля, що відмовив та відновлення функціонування системи.

Дослідження існуючих математичних моделей функціонально стійких складних технічних систем. Відомо, що математична модель, яка описує формалізований процес функціонування складної технічної системи, зокрема, інформаційної системи підприємства, включає в себе лише основні характеристики. Додаткові характеристики в таких моделях не розглядаються. При розгляді функціональної стійкості систем головним завданням є визначення стану відмови системи. Тому процес функціонування розглядається як процес послідовної зміни станів. Зазвичай основні складові математичних моделей формуються при виконанні таких операцій:

- визначення типів несправностей (постійні, мигаючі чи збій);
- встановлення закону розподілу для часу виникнення несправностей в системі;
- формалізація поняття збою в інформаційній системі;

В ролі параметрів, що описують процес функціонування інформаційної системи використовують:

- час знаходження несправності в системі t_d ;
- достовірність виявлення несправності D ;
- ймовірність відновлення працездатності системи P_B ;
- час відновлення працездатності системи T_B .

Для багатомодульних систем з пасивним та активним надлишковим ресурсом можливі декілька варіантів розкриття параметрів, які описують функціонування системи.

Варіант 1. Варіант характеризується тим, що процедура діагностування та відновлення в системі не розглядається. Вважається, що будь-яка відмова в системі одразу виявляється та відбувається відновлення системи. Відмовою таких систем вважається стан коли виникає несправність, а надлишковий ресурс вже вичерпаний, тобто коли відмовить $N + 1$ модуль, а надлишкових модулів N , $N \in \mathbb{N}$.

Варіант 2. На відміну від першого варіанту в даному випадку *враховується час відновлення системи*. Припускається, що процедура виявлення модуля, що відмовив та відновлення системи шляхом заміни на справний модуль виконуються з ймовірністю рівною одиниці. Відмова системи може відбутися лише у випадку, коли під час відновлення системи виникне відмова ще одного модуля або коли відмовить більше одного модуля системи.

Варіант 3. Характеризується тим, що *враховується лише процедура діагностування*. При цьому вважають, що несправність виявляється миттєво. Для таких моделей під відмовою системи розуміється стан, коли відмовлять усі резервні модулі та один модуль працюючої конфігурації або буде виявлена несправність.

Варіант 4. Враховується не лише достовірність виявлення несправностей, а і *ймовірність успішного відновлення системи*. Приклад такої моделі розглянутий в роботі [15], де вводиться параметр P_0 – умовна ймовірність успішної заміни активного модуля, що відмовив, при наявності відмови і P_B – умовна ймовірність ізоляції резервного модуля, що відмовив, при наявності відмови. Необхідно зазначити, що дані параметри враховують тільки якість алгоритмів, а апаратура, яка забезпечує дані алгоритми вважається безвідмовною.

Варіант 5. Відрізняється від варіанту 4 тим, що *враховує час відновлення системи*. Приклад такої моделі наведено в [16]. В такій моделі один модуль є активним, а другий знаходиться в стані ненавантаженого резерву, що очікує включення, коли активний модуль вийде з ладу. Відмовою системи вважається стан, коли після відмови активного модуля не відбудеться успішне відновлення системи або у випадку відмови обох модулів до моменту відновлення системи. Припускається, що наробіток на відмову і час відновлення задаються експоненціальним законом розподілу. Після відновлення системи в ній знову працюють два модулі: активний та резервний.

Варіант 6. Останнім часом будуються моделі, в яких детально *розглядається процес діагностування та відновлення системи*. При цьому звертається увага, що, в міру того як система використовує свої ресурси, витрати на реалізацію процесу відновлення можуть зрости, враховуючи при цьому час відновлення. З цього випливає, що час відновлення системи різний на протязі всього процесу функціонування системи.

Крім того, наслідки від появи несправностей в системі не рівноцінні. Тобто не однакова глибина областей поширення несправностей. Процес відновлення працездатності системи складається з декількох процедур кожна з яких має свою випадкову дію, що залежить від виду несправності.

З практичної точки зору, важливою є ситуація, коли інформаційні системи підприємства функціонують автономно та мають жорсткі обмеження на час відновлення системи. Тобто може трапитися випадок, коли система не відновить працездатність за встановлений час. Для таких моделей під відмовою системи розуміється подія відмови всіх резервних модулів системи та одного модуля робочої конфігурації або відмова будь-якого модуля і його невиявлення або невідновлення помилки, що викликана даною відмовою або невідновленням працездатності системи після відмови на протязі встановленого часу.

Вибір кожної з розглянутих моделей залежить від поставлених вимог до адекватності опису зміни станів системи та точності отриманих результатів.

Для інформаційних систем підприємства значну роль відіграє час знаходження несправності t_d . Тому модель, яка описує функціонування інформаційної системи підприємства з точки зору її функціональної стійкості повинна враховувати параметр t_d . Крім того, процедури виявлення несправностей і відновлення системи реалізуються засобами самої системи. З цього випливає, що *параметри t_d , D , P_B , і T_B є функціями стану системи*, тобто після виявлення кожної несправності і відновлення системи вказані параметри будуть змінюватися.

Відтак, підсумовуючи вище сказане, приходимо до висновку що жодна із розглянутих моделей не дозволяє в повній мірі досліджувати властивість функціональної стійкості інформаційної системи промислового підприємства. Тому виникає необхідність розробити модель, яка здатна забезпечити задану точність результатів, що відображають функціональну стійкість інформаційної системи підприємства та, яка враховуватиме при цьому введені параметри t_d , D , P_B , і T_B .

Формалізація основних типів процедур процесу функціонування інтелектуальної інформаційної системи підприємства. Як зазначено в [10] функціональна стійкість інформаційних систем підприємства може бути

забезпечена шляхом використання методів контролю та адаптивного самодіагностування для виявлення та локалізації несправностей в системі.

Модель функціонально стійкої інформаційної системи підприємства повинна враховувати всі параметри, що описують функціонування та залежності даних параметрів від стану системи. В основі такої моделі лежить представлення функціонування системи у вигляді процесу ξ_t :

$$\xi_t = \langle N, N_s, \text{ТП}, n_0, \rho, \varphi \rangle \quad (1)$$

де N – число активних модулів в системі; N_s – число модулів, які відмовили але продовжують працювати (тобто ті, які ще не виявлені або виявлені, але приймають участь в елементарних перевірках); ТП – тип процедури; n_0 – номер операції; ρ, φ – відповідні параметри процесу.

Процес ξ_t має наступні типи процедур:

- накопичення перевірок для контролю системи (НК);
- аналіз структури перевірочних зв'язків (АЗ);
- накопичення перевірок для діагностики системи (НД);
- аналіз сукупності результатів перевірок для визначення модуля, що відмовив (АД);
- відновлення роботи системи (В).

Номер операції n_0 відповідає номеру циклу всередині процедури; параметр ρ характеризує момент виникнення відмови відносно номера операції; параметр φ характеризує момент виявлення відмови відносно номера операції.

Процес ξ_t може бути представлений у вигляді графу станів-переходу (рис. 1). На рисунку визначені стани об'єднані в блоки. Так в блок контролю (БК) входять K , $K \in \mathbb{N}$ станів, а в блок діагностування (БД) входять $m = \sum_{i=1}^k i$, станів, які відрізняються n_0, ρ, φ .

Під відмовою системи будемо розуміти складну подію, яка складається хоча б з однієї з умов:

- має місце відмова такої кількості модулів при якій система не в змозі виконувати мінімальний об'єм задач;
- відмова модуля не визначена за встановлений період часу;
- система після відмови одного з модулів не була відновлена за встановлений час.

Розглянемо детальніше окремо виділені типи процедур процесу ξ_t .

Удосконалення інтелектуальної інформаційної технології накопичення перевірок та аналіз структури перевірочних

зв'язків. Процедура накопичення перевірок і аналізу структури перевірочних зв'язків можуть бути представлені у вигляді блоків контролю. При цьому блоки контролю розрізняються значеннями N, N_s, ρ, φ . Всі блоки контролю ідентичні тобто мають однакове число станів і однакові зв'язки між ним. Розглянемо структуру начального блоку контролю та визначимо його основні елементи.

Оскільки організація контролю модулів в інформаційній системі підприємства відбувається згідно стратегії самоконтролю з випадковим виконанням елементарних перевірок, то виникає задача визначити момент часу коли необхідно припинити накопичення перевірок та розпочати виконання аналізу структури перевірочних зв'язків (СПЗ).

Після виконання аналізу можливі дві ситуації:

- 1) буде видана інформація про справність всіх модулів системи.
- 2) буде вказано на необхідність виконання додаткових елементарних перевірок.

Після виконання додаткових перевірок знову проводиться аналіз СПЗ в результаті якого знову можливі дві ситуації. Таким чином процес додаткового накопичення елементарних перевірок може повторюватися декілька разів.

Початкове накопичення елементарних перевірок назвемо *основним циклом накопичення*, а всі інші додаткові накопичення – *додатковими циклами*. Основний цикл накопичення має $n_0 = 1$, а додаткові – $n_0 = i$, де $i = 2, 3, \dots, k$.

З точки зору достовірності контролю системи необхідно максимально збільшити час основного циклу накопичення для отримання більшого числа елементарних перевірок. Проте, при цьому збільшується час видачі інформації $T_{\text{ВІ}}$ про справність системи (проміжок часу між двома послідовними моментами видачі інформації про працездатність всіх модулів системи).

Специфіка таких задач та правильність їх розв'язків є причиною того, що в ІСП накладаються обмеження на час видачі сигналу про готовність її окремих модулів. Таким чином значення $T_{\text{ВІ}}$ бажано зменшувати. Отже, існує оптимальний час основного циклу накопичення. Можна показати, що існує оптимальне число додаткових циклів накопичення $n_0 = k$ і оптимальний час їх виконання.

Розглянемо випадок коли один з оптимізаційних параметрів D (достовірність видачі інформації) заданий таким способом $D \geq D_3$, де D_3 – задана достовірність. Тоді задача може бути сформульована так.

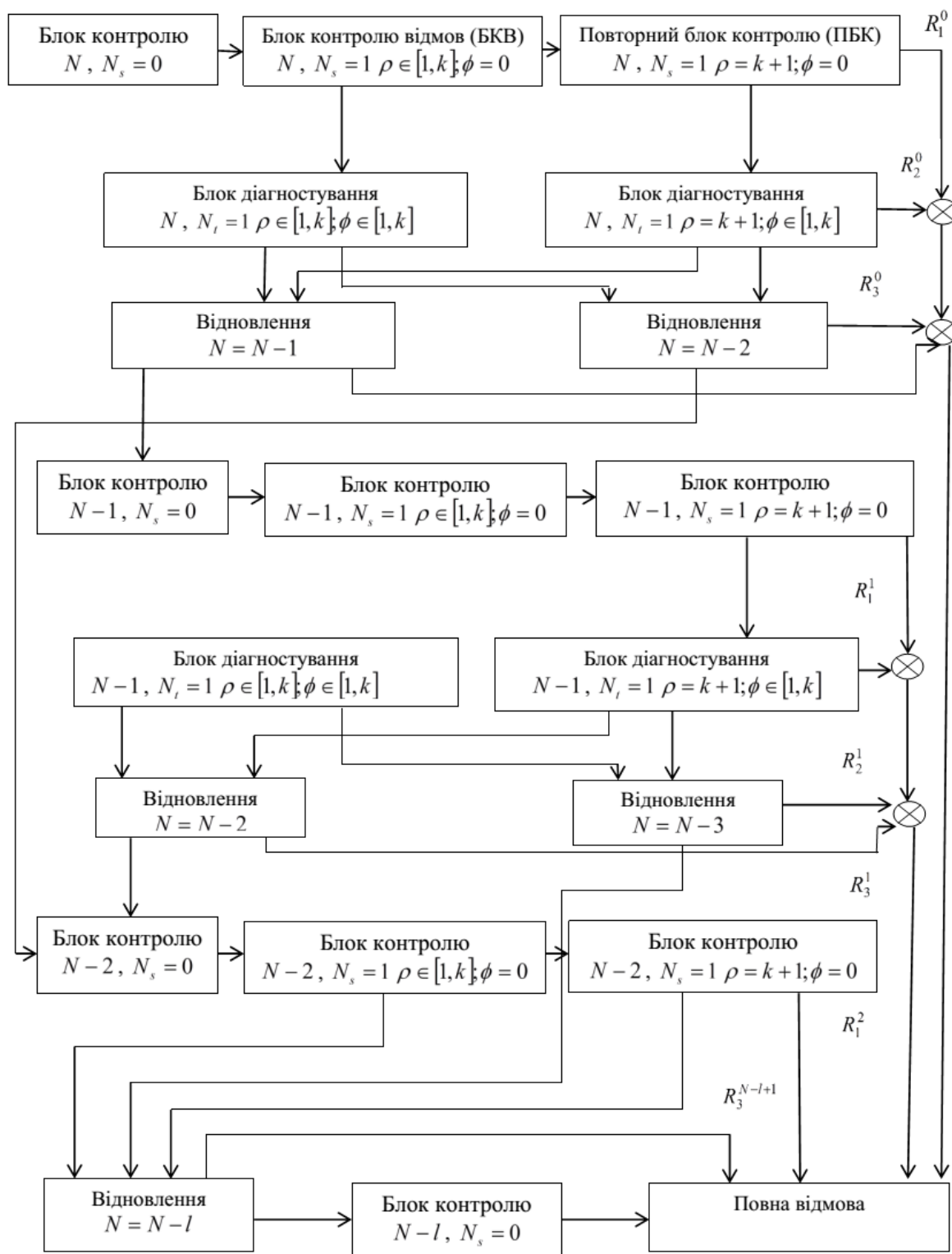


Рис. 1. Граф станів-переходу функціонування інформаційної системи підприємства

Задача 1. Необхідно визначити час основного циклу накопичення $T_{ОЦ}$, що забезпечує мінімальне значення $T_{ВІ}$ та при цьому забезпечує виконання умови $D \geq D_3$.

Вихідною інформацією для розв'язання сформульованої задачі є залежність між ймовірністю видачі інформації $T_{ВІ}$ та часом виконання набору перевірок $T_{Н}$. В даному випадку параметр $T_{ОЦ}$ співпадає з $T_{Н}$ і тому

Ймовірність $P_{\text{ВІ}}$ можна виразити через значення $T_{\text{ОЦ}}$ наступним чином:

$$P_{\text{ВІ}} = \begin{cases} 0, & \text{при } T_{\text{ОЦ}} \leq T_1, \\ f(T_{\text{ОЦ}}), & \text{при } T_1 < T_{\text{ОЦ}} < T_2, \\ L, & \text{при } T_{\text{ОЦ}} \geq T_2, \end{cases}$$

де L – число значень близьке до 1 ($L < 1$).

Для розв'язання отриманої задачі пропонується процес накопичення елементарних перевірок і аналізу СПЗ у вигляді ланцюга Маркова з дискретними станами і неперервним часом рис. 2.

Припускається, що після K -того додаткового циклу ймовірність $P_{\text{ВІ}} = L$. Тому з похибкою не більшою значення $(1 - L)$, можна вважати, що після K -того додаткового циклу накопичення елементарних перевірок буде видана інформація про справність модулів системи з достовірністю $D \geq D_3$.

Для графу станів складається система диференціальних рівнянь Колмогорова з якої визначається середній час перебування процедури контролю у всіх станах, за винятком стану видачі інформації. Отримуємо

$$P_{\text{ВІ}} = \sum_{i=1}^{2k+2} P_i(s) \Big|_{s=0} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + (1 - P_{1\text{ВІ}}) \times \left[\frac{1}{\lambda_3} + \frac{1}{\lambda_4} + (1 - P_{2\text{ВІ}}) \left(\frac{1}{\lambda_5} + \frac{1}{\lambda_6} + (1 - P_{3\text{ВІ}}) \right) \times \dots \times \left(\frac{1}{\lambda_{2k+1}} + \frac{1}{\lambda_{2k+2}} \right) \right] \quad (2)$$

де $P_i(s)$ – перетворення Лапласа ймовірності перебування процедури контролю в i -тому стані; λ_i – інтенсивність переходу процедури контролю з i -того стану.

У випадку, коли після зупинки циклу накопичення елементарних перевірок інформація про справність модулів системи не може бути видана з достовірністю $D \geq D_3$, виконується додатковий цикл $T_{\text{ДЦ}_1}$. Ймовірність Q_1 того, що знадобиться додатковий цикл визначається на основі залежності $P_{\text{ВІ}} = f(T_{\text{Н}})$ таким способом

$$Q_1 = 1 - P_{\text{ВІ}}(T_{\text{ОЦ}}). \quad (3)$$

Не виключено, що потрібним буде другий

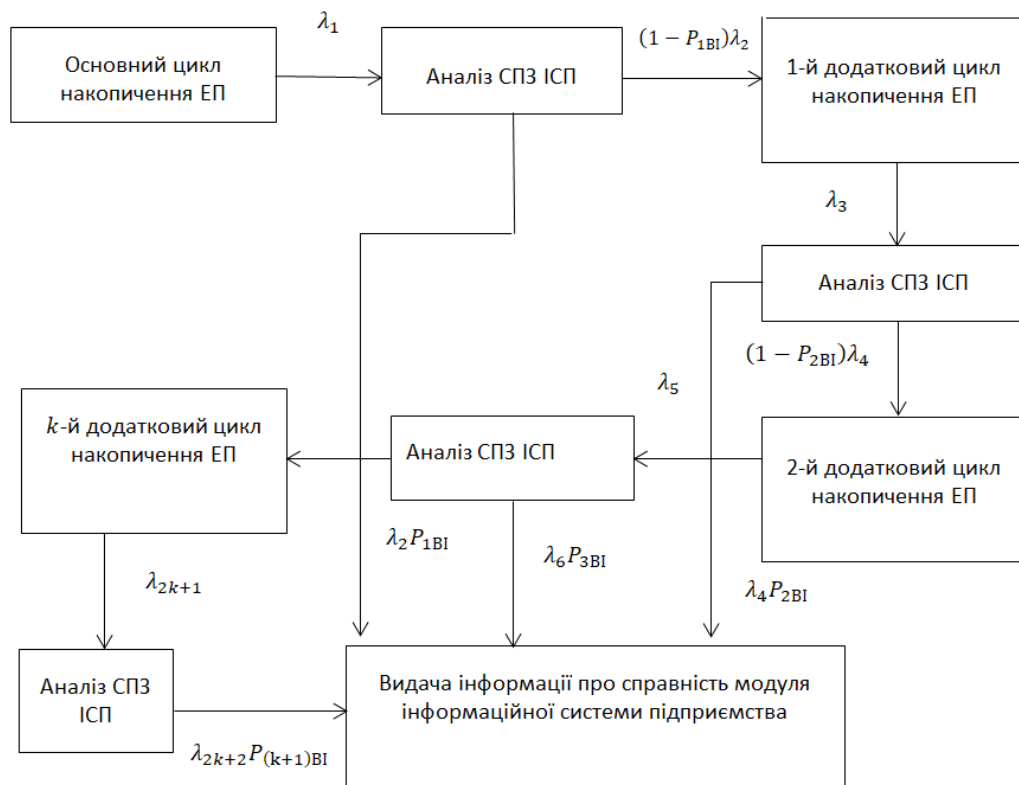


Рис. 2. Процес накопичення елементарних перевірок і аналізу структури перевірюваних зв'язків

$T_{ДЦ_2}$, третій $T_{ДЦ_3}$ і так далі до K -того – $T_{ДЦ_k}$ додаткові цикли. Ймовірності даних подій Q_2, Q_3, \dots, Q_k визначаються наступним чином

$$Q_l = 1 - P_{ВІ}(T_{ОЦ} + \sum_{i=1}^{l-1} T_{ДЦ_i}), \quad (4)$$

$$l = 2, 3, \dots, k$$

Враховуючи те, що

$$\frac{1}{\lambda_1} = T_{ОЦ},$$

$$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda_4} = \dots = \frac{1}{\lambda_{2k+2}} = C,$$

$$\frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_5} = \dots = \frac{1}{\lambda_{2k+1}} = T_{ДЦ_k},$$

вираз (4) можна представити у вигляді:

$$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda_4} = \dots = \frac{1}{\lambda_{2k+2}} = C,$$

$$\bar{T}_{ВІ} = T_{ОЦ} + C + (T_{ДЦ_1} + C)Q_1 + \dots + (T_{ДЦ_k} + C) \prod_{i=1}^{k-1} Q_i. \quad (5)$$

Таким способом отримали оптимізаційну задачу.

Задача 2. Необхідно знайти $T_{ОЦ}, T_{ДЦ_1}, \dots, T_{ДЦ_k}$ і K , при яких забезпечується мінімальне значення $\bar{T}_{ВІ}$.

При розв'язанні даної оптимізаційної задачі будемо враховувати наступні обмеження змінних

$$T_2 \geq T_{ОЦ} \geq b, \quad T_2 \geq T_{ДЦ_i} \geq d,$$

$$0 \leq K \leq \left\lfloor \frac{T_2 - b}{d + C} \right\rfloor,$$

де $T_2 = T_H$, що задовольняє співвідношення $1 - P_{ВІ}(T_2) = \varepsilon$, ε – наперед задане значення, що прямує до нуля; b – задає область накопичення елементарних перевірок при якій $P_{ВІ} = 0$. Дослідження показують, що в більшості випадків $b \approx 5\tau_{еп}$ ($\tau_{еп}$ – час виконання елементарної перевірки); d – мінімальний час виконання додаткового циклу. Можна вважати, що $d \approx 2\tau_{еп}$.

Оскільки оптимальне значення для величини K невідоме, то потрібно для всіх допустимих значень отримати локальний мінімум $(\bar{T}_{ВІ})_j^0$, $j = 1, 2, \dots, k$. Після цього необхідно серед отриманих K значень $\{(\bar{T}_{ВІ})_j^0\}$ вибрати найменше, яке й буде глобальним екстремумом.

Для визначення кожного $(\bar{T}_{ВІ})_j^0$ спочатку визначають необхідні умови екстремуму (тобто

стаціонарні точки $T_{ОЦ}^0, T_{ДЦ_1}^0, \dots, T_{ДЦ_k}^0$). Стаціонарні точки знаходяться з системи рівнянь

$$\frac{\partial \bar{T}_{ВІ}}{\partial T_{ОЦ}} = 0, \quad \frac{\partial \bar{T}_{ВІ}}{\partial T_{ДЦ_1}} = 0, \quad \frac{\partial \bar{T}_{ВІ}}{\partial T_{ДЦ_j}} = 0. \quad (6)$$

Далі визначається другий диференціал $d^2\bar{T}_{ВІ}$:

$$d^2\bar{T}_{ВІ} = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k \frac{d^2\bar{T}_{ВІ}}{\partial T_{ДЦ_i} \partial T_{ДЦ_j}} \Big|_{(T_{ОЦ}^0, T_{ДЦ_1}^0, \dots, T_{ДЦ_k}^0)} \Delta T_{ДЦ_i} \Delta T_{ДЦ_j}. \quad (7)$$

В даному випадку для спрощення запису для $T_{ОЦ}$ вводиться нове позначення $T_{ДЦ_0}$.

Коли диференціал $d^2\bar{T}_{ВІ}$ буде додатновизначеною квадратичною формою, то функція $\bar{T}_{ВІ}$ матиме в точці стаціонарності $(T_{ОЦ}^0, T_{ДЦ_1}^0, \dots, T_{ДЦ_k}^0)$ мінімум. Встановлення того факту чи є квадратична форма (7) додатновизначеною виконується на основі власних значень λ_j матриці, яка визначена елементами квадратичної форми. Якщо всі власні значення λ_j даної матриці додатні, дійсна симетрична квадратична форма є додатновизначеною.

Блок-схема визначення значень $T_{ОЦ}, T_{ДЦ_i}, K$ представлена на рис. 3.

Можна показати, що

$$\Delta = (\bar{T}_{ВІ})_{k=0}^0 - (\bar{T}_{ВІ})_{k=1}^0$$

$$= -C + (T_2 + C - T_{ОЦ})P_{ВІ}(T_{ОЦ}).$$

Відповідно $\Delta < 0$ при:

$$\frac{(T_2 - T_{ОЦ})P_{ВІ}(T_{ОЦ})}{1 - P_{ВІ}(T_{ОЦ})} < C. \quad (8)$$

Таким чином, коли виконується нерівність (8), додаткові цикли накопичення елементарних перевірок реалізовувати не потрібно.

З практичної точки зору більш реальною є ситуація коли на час $T_{ВІ}$ також накладається умова $T_{ВІ} \leq (T_{ВІ})_{зад}$. Тоді обмеження для змінної K визначатиметься з умови

$$0 \leq K \leq \frac{(T_{ВІ})_{зад} - b}{d + C}. \quad (9)$$

Більш загальним є випадок коли оптимізується критерій, який залежить від параметрів $T_{ВІ}$ і D . В ролі такого критерію V можна запропонувати:

$$V = K_D K_{НД} D_C + \frac{K_T K_{НТ}}{(\bar{T}_{ВІ})_{ср}}, \quad (10)$$

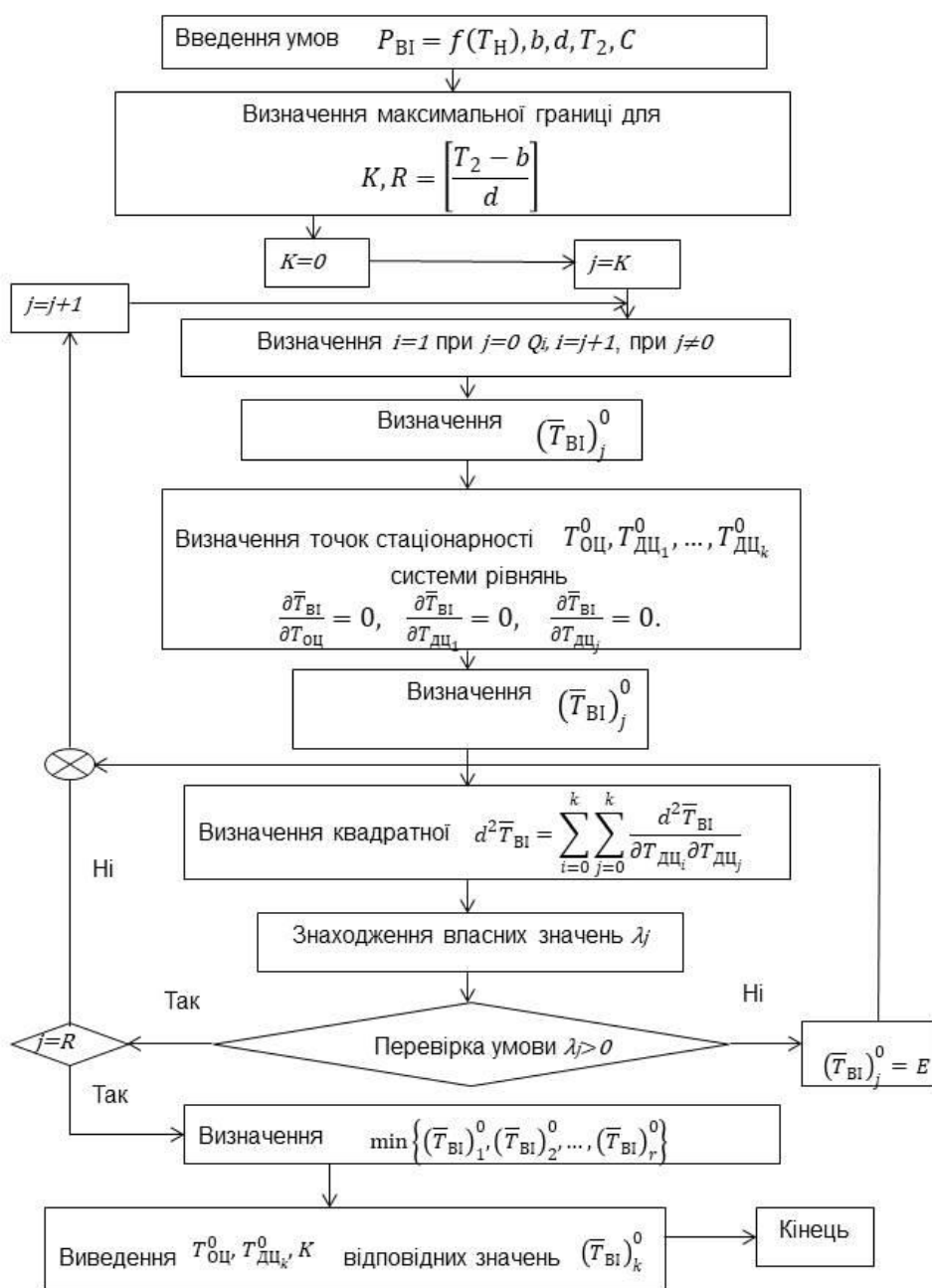


Рис. 3. Блок-схема методики визначення параметрів $T_{0Ц}^0, T_{ДЦ1}^0, \dots, T_{ДЦk}^0, K$, які забезпечують мінімальне значення $\bar{T}_{ВІ}$ при $D > D_3$.

де K_D та K_T – відповідні вагові коефіцієнти; $K_{НД}$ та $K_{НТ}$ – нормовані коефіцієнти; $(\bar{T}_{ВІ})_{ср}$ – середнє значення часу видачі інформації про справність інформаційної системи підприємства; D_C – середнє значення достовірності видачі інформації про справність системи.
Граф станів-переходу для процесу накопичення елементарних перевірок і аналізу системи перевірочних зв'язків, буде мати наступний

вигляд рис. 4. На даному графі є два стани видачі інформації. Одному стану відповідає достовірність D_0 , а другому – D_1 . В даному випадку припустимо, що якщо в результаті аналізу структури перевірочних зв'язків виконуються завчасно обумовлені умови, то достовірність інформації вважаємо рівною D_0 , в протилежному випадку – D_1 . Тоді середнє значення достовірності дорівнює $D_C = P_0 D_0 +$

$P_1 D_1$, де P_0 і P_1 – відповідні ймовірності видачі інформації з достовірністю D_0 і D_1 . З врахуванням ймовірностей P_0 і P_1 середнє значення часу видачі інформації про справність інформаційної системи підприємства знаходимо наступним чином

$$(\bar{T}_{\text{ВІ}})_{\text{ср}} = (\bar{T}_{\text{ВІ}})_0 P_0 + (T_{\text{ВІ}})_1 P_1, \quad (11)$$

де $(\bar{T}_{\text{ВІ}})_0$ – математичне сподівання часу видачі інформації з достовірністю D_0 ; $(T_{\text{ВІ}})_1$ – час видачі інформації з достовірністю D_1 .

З врахуванням прийнятих обмежень для $T_{\text{ВІ}}$ отримаємо $(T_{\text{ВІ}})_1 = (T_{\text{ВІ}})_{\text{зад}}$. Ймовірності P_0 і P_1 знаходимо, відповідно, з наступних співвідношень

$$P_0 = 1 - P_1, \quad P_1 = \prod_{i=1}^{k-1} Q_i. \quad (12)$$

Значення $(\bar{T}_{\text{ВІ}})_0$ знаходимо на основі рівності (5) з врахуванням того, що $T_2 = (T_{\text{ВІ}})_{\text{зад}}$. Нормовані коефіцієнти для значень D_C і $(\bar{T}_{\text{ВІ}})_{\text{ср}}$ знаходяться з виразів:

$$K_{\text{НД}} D_1 = 1, \quad K_{\text{НТ}} (T_{\text{ВІ}})_{\text{зад}} = 1.$$

Після підстановки D_C , $(\bar{T}_{\text{ВІ}})_{\text{ср}}$, $K_{\text{НД}}$, $K_{\text{НТ}}$, $K_{\text{Д}}$, $K_{\text{Т}}$ у співвідношення (10) для кожного значення K (з області допустимих значень) визначається

критерій V . Значення K , $T_{\text{ОЦ}}$, $T_{\text{ДЦ}_i}$, $i = 1, 2, \dots, k$, при яких V має максимальне значення є оптимальними. Після виконання основного циклу накопичення і, якщо необхідно, всіх додаткових циклів виконується видача інформації про справність модулів інформаційної системи підприємства.

Необхідно зазначити, що якщо в системі немає модулів, які відмовили, то процес знаходиться в одному із станів, що входить в склад початкового блоку контролю (ПБК). У випадку, коли відбувається відмова одного з модулів процес переходить в один із станів, що входить в склад блоку контролю з відмовою (БКВ). БКВ аналогічно як і ПБК може включати в себе основний і, за необхідності, додаткові цикли накопичення.

Особливий інтерес представляє ситуація коли в результаті виконання основного і всіх додаткових циклів, накопичення елементарних перевірок, модуль, що відмовив, не буде виявлено. Така ситуація приводить до видачі невірної інформації про стан інформаційної системи підприємства. В результаті цього несправний модуль може неправильно виконати свій алгоритм. Після видачі невірної інформації про технічний стан модулів процес переходить в стан, що відповідає повторному контролю. Припускається, що якщо модуль, який відмовив,

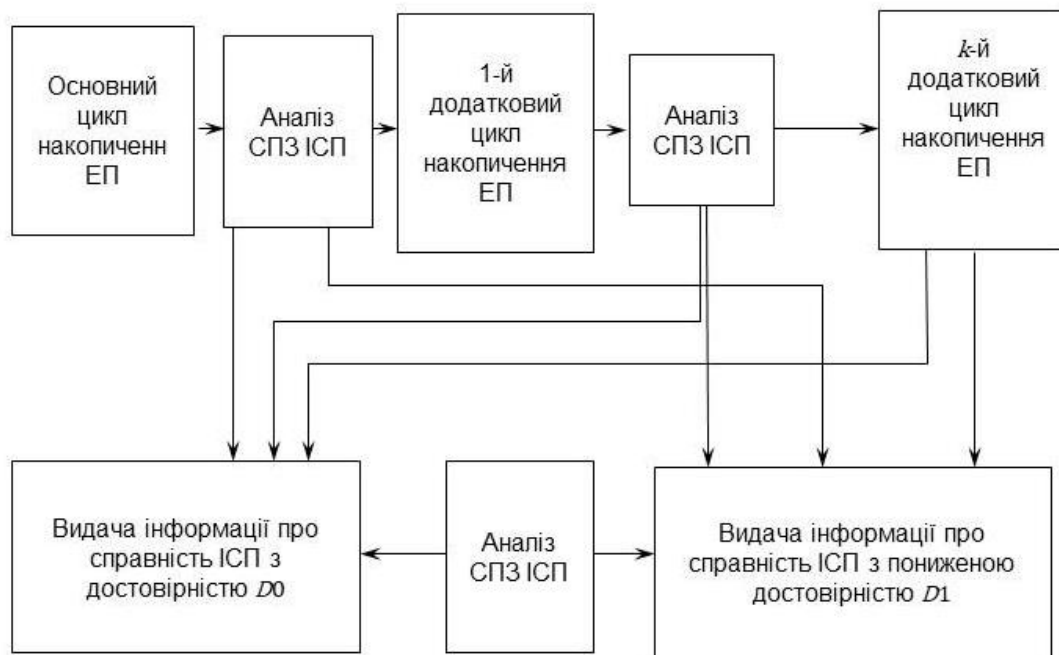


Рис. 4. Граф станів-переходу для процесу накопичення елементарних перевірок і аналізу системи перевірочних зв'язків

буде визначений при повторному контролі, то спотворена інформація модуля, який відмовив, може бути відновлена і передана одному з справних модулів. Повторний контроль включає в себе основний цикл накопичення і, за необхідності, додаткові цикли. На графі станів-переходу (див. рис. 1) всі стани, що утворюють повторний контроль, представлені у вигляді повторного блоку контролю (ПБК) з параметром $\rho = k + 1$.

Якщо ж при повторному контролі модуль, що відмовив, не буде виявлено, то інформаційна система підприємства переходить в стан повної відмови.

Висновки. В роботі удосконалено методику забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи підприємства, за рахунок представлення функціонування системи у вигляді формалізованого процесу, в якому основними типами процедур є накопичення перевірок, аналіз перевірочних зв'язків, діагностування модуля, що відмовив та відновлення функціонування системи. Зазначена методика дозволяє забезпечити властивість функціональної стійкості інформаційної системи підприємства.

Список використаних джерел

1. *Monakhov Yu.* Simulation Model Of Functional Stability Of Business Processes / Monakhov Yu., Fayman O. // *Int. Journal of Engineering Research and Application*, Vol. 3, Issue 6, Nov-Dec 2013, pp. 819-828.
2. *Sobchuk A.V.* Assessment methods of functional stability of wireless sensor networks / Sobchuk A.V., Barabash O.V., Musienko A.P. // *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. Київ, ДУТ, 2019. № 3 (64). С. 46 – 54.
3. *Кучук Н.Г.* Оптимізація пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвективної системи / Кучук Н.Г., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. // *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Вип. 3 (55). – С. 120–125.
4. *Саланда І.П.* Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж / Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. // *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Полтава: ПНТУ, 2017. Вип. 1 (41). С. 122 – 126.
5. *Jerry Cha-Jan Chang.* Measuring the Performance of Information Systems: A Functional Scorecard / Jerry Cha-Jan Chang and William R. // *Journal of Management Information Systems*. Vol. 22, No. 1 (Summer, 2005), pp. 85-115.
6. *Собчук В.В.* Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / Собчук В.В., Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В. // *Науково-технічний журнал «Сучасні інформаційні системи»*. Харків: НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2019. Т. 3, № 2. С. 116 – 121.
7. *Barabash O.* Application of petri networks for support of functional stability of information systems / Barabash O., Lukova-Chuiko N., Sobchuk V., Musienko A. // *2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, p. 1-4.
8. *Ghazanfari M.* A tool to evaluate the business intelligence of enterprise systems / Ghazanfari M., Jafari M., Rouhani S. // *Scientia Iranica*. Volume 18, Issue 6, December 2011, Pp. 1579-1590.
9. *Собчук В.В.* Методика створення єдиного інформаційного простору на виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом / Собчук В.В. // *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Вип. 6 (58). – С. 84 – 91.
10. *Собчук В.В.* Метод діагностування прихованих відмов в інформаційній системі на основі застосування дворівневої системи забезпечення функціональної стійкості / Собчук В.В., Коваль М.О., Мусієнко А.П., Мацько О.Й. // *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. – К.: ДУТ, 2019. – № 1 (62). – С. 22 – 31.
11. *Maciaszek L.A.* Managing Complexity of Enterprise Information Systems. In: Seruca I., Cordeiro J., Hammoudi S., Filipe J.

- (eds) Enterprise Information Systems VI. Springer, Dordrecht. 2006. Pp. 30-36.
12. Sobchuk A.V. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis / Sobchuk A.V., Sobchuk V.V., Barabash O.V., Lyashenko I.O. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, 2019. – VII (23), Issue 193, Budapest, Hungary, pp. 46 – 48.
 13. Suh Y. S. Stability and stabilization of nonuniform sampling systems // Automatica, vol. 44, no. 12, pp. 3222-3226, 2008.
 14. Собчук В.В. Математична модель структури інформаційної мережі на основі нестационарної ієрархічної та стаціонарної гіпермережі / Собчук В.В., Лаптев О.А., Саланда І.П., Сачук Ю.В. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2019. – Вип. 64. – С. 124 – 132.
 15. Белоцерковский Д.Л. Новый алгоритм генерации остовных подграфов для оптимизации топологии сетей передачи данных / Белоцерковский Д.Л., Вишневский В.М. // Автоматика и телемеханика. 1997. № 1. С.108 – 120.
 16. Креденцер Б.П. Оцінка надійності резервованих систем при обмеженій вихідній інформації / Креденцер Б.П., Вишнівський В.В., Жердєв М.К., Могилевич Д.І., Стойкова Л.С. // Під науковою редакцією, доктора технічних наук, професора Б.П., Креденцера. Київ: «Фенікс», 2013. 336 с.
 - periodychnе vydannija “Systemy upravlinnja, navigacii ta зв’язку”. – Poltava: PNTU, 2019. – Vyp. 3 (55). – P. 120–125.
 4. SALANDA I.P., BARABASH O.V., MUSIENKO A.P. Systemy pokaznykiv ta kryteriiv formalizacii procesiv zabezpechennja lokalnoi funkcionanoi stiykosti rozgalugenyh informaciyneh mereg. // Naukove periodychnе vydannija “Systemy upravlinnja, navigacii ta зв’язку”. – Poltava: PNTU, 2017. Vyp. 1 (41). – P. 122–126.
 5. JERRY CHA-JAN CHANG and WILLIAM R. Measuring the Performance of Information Systems: A Functional Scorecard // Journal of Management Information Systems. Vol. 22, No. 1 (Summer, 2005), pp. 85-115.
 6. SOBCHUK V.V., KUCUK N.G., GAVLENKO S.Yu. and LUKOVA-CHUYKO N.V. Pererozpodil informaciyneh potokiv u giperkonvectyvnyi systemi. // Naukovo tehnicnyy gurnal “Suchasni informaciyni systemy”. Kharkiv: NTU «Kharkivskyi politehnicnyy instytut», 2019. – T. 3, № 2. – P. 116–121.
 7. BARABASH O., LUKOVA-CHUIKO N., SOBCHUK V. and MUSIENKO A. Application of petri networks for support of functional stability of information systems // 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), p. 1-4.
 8. GHAZANFARI M., JAFARI M., ROUHANI S. A tool to evaluate the business intelligence of enterprise systems // Scientia Iranica. Volume 18, Issue 6, December 2011, Pp. 1579-1590.
 9. SOBCHUK V.V. Metodyca stvorennja edynogo informacijnogo prostoru na vyrobnychomu pidpriansvi z funkcionalo stiykym vyrobnychym procesom. / Naukove periodychnе vydannija “Systemy upravlinnja, navigacii ta зв’язку”. – Poltava: PNTU, 2019. – Vyp. 6 (58). – P. 84–91.
 10. SOBCHUK V.V., KOVAL M.O., MUSIENKO A.P and MACKO O.Y. Metod diagnostuvannja pryhovanyh vidmov v informaciynyi systemi na osnovi zastosuvannja dvorivnevoji systemy zabezpechennja funkcionanoi stiykosti. //

References

1. MONAKHOV Yu., FAYMAN O. Simulation Model Of Functional Stability Of Business Processes // Int. Journal of Engineering Research and Application, Vol. 3, Issue 6, Nov-Dec 2013, pp. 819-828.
2. SOBCHUK A.V. BARABASH O.V. and MUSIENKO A.P. Assessment methods of functional stability of wireless sensor networks. // Telekomunikacijni ta informacijni tehnologii. 2019. – № 3 (64). – С. 46–54.
3. KUCUK N.G., LUKOVA-CHUYKO N.V. and SOBCHUK V.V. Optyimizacija propuskyh zdatnostey kanaliv зв’язку giperkonvectyvnoji systemy // Naukove

- Naukovyy gurnal "Telekomunikaciyni ta informacijni tehnologii" K.: DUT, 2019. – № 1 (62). – P. 22–31.
11. MACIASZEK L.A. Managing Complexity of Enterprise Information Systems. In: Seruca I., Cordeiro J., Hammoudi S., Filipe J. (eds) Enterprise Information Systems VI. Springer, Dordrecht. 2006. Pp. 30-36.
 12. SOBCHUK A.V., SOBCHUK V.V., BARABASH O.V. and LYASHENKO I.O. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, 2019. – VII (23), Issue 193, Budapest, Hungary, P. 46–48.
 13. SUH Y. S. Stability and stabilization of nonuniform sampling systems // Automatica, vol. 44, no. 12, pp. 3222-3226, 2008.
 14. SOBCHUK V.V., LAPTIEV. O.A., SALANDA I.P and SACHUK Yu.V. matematychna model struktury informacijnoii meregi na osnovi nestacionarnoi ierarhichnoii ta stacionarnoi gipermergi. // Zbirnyk naukovykh prac Viyskovogo instytutu Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU, 2019. – Vyp. 64. – P. 124–132.
 15. BELOCERKOVSKIJ D.L. and VISHNEVSKIJ V.M. Novyj algoritm generacii ostovnykh podgrafov dlya optimizacii topologii setej peredachi danykh // Avtomatika i telemekhanika. 1997. № 1. P.108 – 120.
 16. KRENTSER B.P., VYSHNIVSKIY V.V., ZHERDIEV M.K., MOHYLEVYCH D.I. and STOIKOVA L.S. Otsinka nadiinosti rezervovanykh system pry obmezhenii vykhidnii informatsii // Pid naukovoio redaktsiieiu, doktora tekhnichnykh nauk, profesora B.P., Kredentsera. Kyiv: «Feniks», 2013. 336 p.

Надійшла до редколегії 4.09.2021