

ЛЮБЧИК В. Р.

ТОВ «Карат», Україна

ORCID ID: 0000-0003-0053-5542

e-mail: [vitaly1612@gmail.com](mailto:vitaly1612@gmail.com)

МАЗУР М. П., МАКАРИШКІН Д. А.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0000-0000-0000

e-mail: [makaryshkin@ukr.net](mailto:makaryshkin@ukr.net)

## МЕТОДИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

У роботі розглянуто питання розробки методів підвищення функціональної надійності безпечності автоматизованих систем керування технологічним обладнанням. Запропоновано удосконалений метод підвищення функціональної надійності безпечності автоматизованих систем керування.

В результаті дослідження запропоновано розробку системи АСУ ТП, яка застосовує теорію графів до управління обладнанням для шиття та склеювання килимових виробів.

Визначення завдання підвищення надійності та безпеки обладнання, що потребує належного аналізу графу станів та переходів обладнання, та модернізації його відповідно до вимог надійності та безпеки. У виконанні цих двох завдань є протиріччя, оскільки для підвищення безпеки необхідно ввести додаткові вузли та модулі, що знизить надійність, і навпаки.

Ключові слова: автоматизована система, граф станів та переходів, технологічне обладнання, функціональна надійність і безпечність.

VITALII LIUBCHYK

Karat Ltd.

MYKOLA MAZUR, DENYS MAKARYSHKIN

Khmelnitsky national university, Ukraine

### METHODS OF FUNCTIONAL DIAGNOSTICS AND MAINTENANCE OF INDUSTRIAL AUTOMATED SYSTEMS

The paper considers the development of methods to increase the functional reliability of automated control systems of technological equipment. In automation systems, it is important to ensure a balance between reliability and safety. The introduction of additional units that increase the security of the system can reduce reliability, and vice versa. The object of research is the process of improving the functional safety and reliability of the automated equipment control circuit. Subject of research: methods of increasing the functional safety and reliability of the automated equipment control circuit.

During the implementation of the stages to increase the reliability and safety of the structure of the ACS TP structure and algorithms are complicated. However, while ensuring reliability, the circuit elements and additional steps of the algorithm increase the reliability more than it decreases due to the complexity of the circuit, because these elements of the circuit and the algorithm are aimed at improving reliability. On the other hand, when the scheme and algorithms are complicated at the stage of security, all the additional elements of the scheme and algorithm, only reduce the reliability.

An improved method for increasing the functional reliability of automated control systems is proposed. As a result of the research, the development of the ACS TP system is proposed, which applies graph theory to the control of equipment for sewing and gluing carpet products.

The technological scheme of the equipment provides supply of a carpet to sewing machines from each party and sizing machines. The sequence of activation of each element of the scheme must be carried out in a certain sequence and sequence in accordance with the technological process of manufacturing finished products. The sequence of each circuit element and the relationship between their activation can be represented as a graph.

The graph of states and transitions implements the device depending on the state of the sensors of the presence of goods on one side or the other of the conveyor belt. But this graph does not take into account the initial stage of turning on the equipment. In accordance with the maintenance strategies, you need to monitor the status of the individual elements of the circuit in a given sequence. To take into account all these features of technical diagnostics and the needs of improvement, it is necessary to analyze the sequence of activation of individual elements of the circuit and develop a graph of the subsystem of functional diagnostics ACS TP.

On the other hand, it is necessary to ensure the safe operation of the device. To determine the units required for commissioning, it is necessary to analyze the technological scheme of the device and the graph of states and transitions for the occurrence of conditions that threaten human health or life. In each case, it is necessary to use different methods to increase security, their selection and justification will need to be carried out at the design stage of the device. But in general, the schedule of equipment needs to be improved taking into account these negative factors in order to improve safety. In the event of any of the life-threatening conditions, the chain of the graph is broken and the system can not go into a state of readiness to turn on. Thus, there is an unconditional cessation of equipment.

Keywords: meat comminutor, meat, screw, serve, rheological properties.

### Постановка проблеми

Функціональна діагностика і пошук несправностей у системах автоматизації виробничого обладнання потребують застосування специфічних підходів та глибокого знання принципів роботи системи, а також кожної підсистем і окремих елементів. Можливість більш зручного і швидкого пошуку підсистем і окремих елементів, що вийшли з ладу, закладається під час проектування усієї системи автоматичного керування. Для цього використовуються додаткові функціональні елементи, що контролюють ввімкнення окремих підсистем та елементів, застосування різноманітних додаткових здавачів, що забезпечують

паралельне контролювання технологічних параметрів, перевірка результатів вимірювання технологічних параметрів на відхилення від заданих граничних (верхніх або нижніх) діапазонів у програмному кодї, розробка різноманітних таблиць можливих поломок і способів їх усунення тощо. Залежно від складності промислового обладнання застосування відповідних підсистем функціональної діагностики може бути різним і визначається економічною доцільністю, тому як введення додаткових підсистем призводить до дорожчання обладнання. З іншого боку, необґрунтоване спрощення підсистеми функціональної діагностики обладнання або ігнорування внесення додаткових елементів в схему, може призвести внаслідок виходу з ладу окремих підсистем до ще більших руйнацій обладнання і навіть травматизму на виробництві.

Згідно зі стандартом ІЕС 61508 [1] функціональна безпечність – «...властивість системи, при виходї з ладу її окремих підсистем чи модулїв, переходити в такий режим роботи, в якому вона не несе загрози життю людей, навколишньому середовищу чи іншим системам».

Дослідженням методів функціональної діагностики і створенням ефективних стратегій технічного обслуговування займаються провідні вчені: Н. Бар, З. Блувбанд, К. Ерікссон, А. Верма, І. Кнезевич, Х. Кумамото, А. Можаяев, І. Рябїнін, Х. Фам, В. Харченко, Е. Хенлі, М. Чепїн, Ю. Бобало, Б. Мандзїй, Б. Волочїй, Л. Озїрковський та інші.

В системах автоматизації важливим є забезпечити баланс між рівнем надїйності і рівнем безпечності. Введення додаткових блоків, що підвищують безпечність системи, можуть призвести до зниження надїйності, і навпаки. Тому дослідження методів підвищення функціональної надїйності і безпечності систем автоматизації є задачею актуальною.

### Аналіз останніх джерел

В роботї проведемо розробку системи автоматизації пошивно-клеїльної технологїчної лїнії із забезпеченням достатнього рівня функціональної надїйності та безпечності.

Об'єктом дослідження є процес підвищення функціональної безпечності та надїйності схеми автоматизованого керування устаткуванням.

Предмет дослідження: методи підвищення функціональної безпечності та надїйності схеми автоматизованого керування устаткуванням.

Задачі, що вирішуються методами забезпечення функціональної безпечності [2]:

- 1) діагностика стану окремих підсистем і відповідальних функціональних модулїв;
- 2) формування сигналїв про готовність, вихід з ладу або вихід за межї нормального функціонування;
- 3) прийняття рїшення про відключення підсистем або усїєї системи при виникненнї загрози життю людини, навколишньому середовищу або іншим системам;
- 4) сигналізація про стан окремих підсистем або окремих відповідальних модулїв.

Технічне обслуговування – це комплекс робїт, що проводяться з метою підтримки техніки зв'язку, АСУ та РТЗ в справному або працездатному станї при зберїганнї, транспортуваннї, підготовцї до використання і застосуваннї за призначенням.

Задачі, що вирішуються технічним обслуговуванням [1]:

- контрольнї вимїрювання електричних параметрїв і характеристик апаратури з метою виявлення виходу їх за межї встановлених нормативною документацією норм;
- виявлення і усунення несправностей, які викликаються процесами старїння і зносу деталей, вузлїв та комплектуючих апаратури;
- приведення параметрїв і характеристик обладнання в межї норм, які встановленї технічною документацією з експлуатації;
- своєчасне знаходження і усунення несправностей і причин їх появи;
- збільшення часу між ремонтами і термїну служби обладнання.

**Метою роботи є:** Ґрунтуючись на проведеннї аналізї необхідно синтезувати відмово стїйкї структури АСУ ТП та синтезувати відмово стїйкї алгоритми АСУ ТП, що дозволить встановити заданий рівень надїйності АСУ ТП.

### Виклад основного матерїалу

Виконання послїдовності вказаних дїй приведе до підвищення надїйності АСУ ТП. З іншого боку, для забезпечення безпечності потрїбно проаналїзувати та встановити заданий рівень безпечності АСУ ТП. Ґрунтуючись на проведеннї аналізї необхідно провести коригування структури та алгоритми АСУ ТП для забезпечення безпечності. В результатї проведення вказаних дїй відбудеться зниження надїйності АСУ ТП. Таким чином виникає протирїччя між задачами забезпеченням надїйності і забезпечення безпечності. Графічно це представлено на рис. 1.

Як видно із даної структури (рис. 1) під час виконання обох етапїв по підвищенню надїйності і підвищенню безпечності структура АСУ ТП структура і алгоритми роботи ускладнюються. Проте, при забезпеченнї надїйності, елементи схеми і додатковї кроки алгоритму підвищують надїйність більше ніж вона знижується за рахунок ускладнення схеми, адже ці елементи схеми і алгоритму спрямованї на підвищення надїйності. З іншого боку, коли ускладнюється схема і алгоритми на етапї забезпечення безпечності, усї додатковї елементи схеми і алгоритму, лишень знижують надїйність. За рахунок чого і виникає протирїччя.

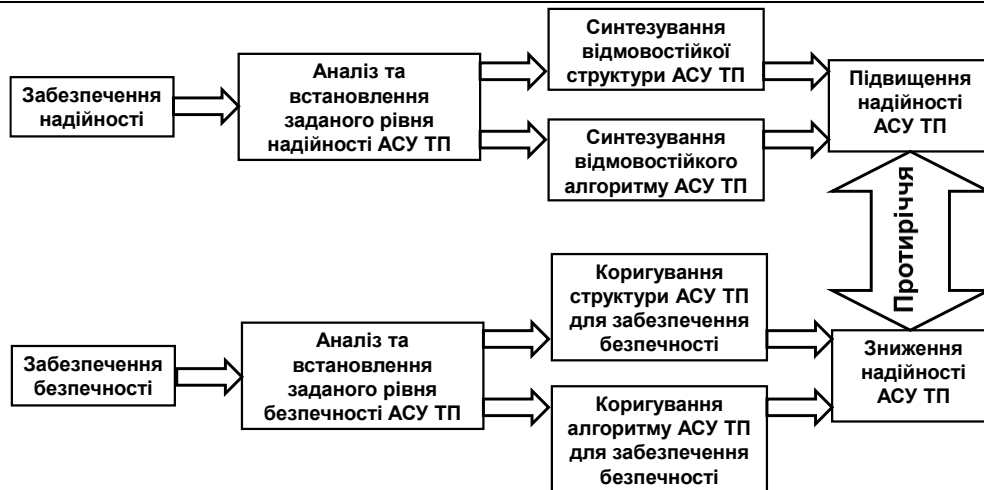


Рис. 1. Протиріччя забезпечення надійності і безпеки

Технологічна схема устаткування забезпечує подачу килиму до швейних машин з кожного боку і машин проклеювання. Послідовність ввімкнення кожного елементу схеми повинна проводитись у певній черговості і послідовності відповідно до технологічного процесу виготовлення готової продукції. Послідовність ввімкнення кожного елементу схеми і взаємозв'язок між їх ввімкненням можна представити у вигляді графу представлено на рис. 2.

Кожен вузол графа відображає стан, в якому знаходиться АСУ ТП устаткування пришивання і проклеювання. Гілки відображають переходи між відповідними станами. Таким чином, у відповідності до технологічного процесу у графі відображені наступні стани:

S0 – устаткування готове до роботи (температура машини проклеювання в робочому діапазоні);

S1 – товар присутній на давачу товару 1 (ДТ1.1 і ДТ1.2);

S2 – товар присутній на давачу товару 2 (ДТ2.1 і ДТ2.2);

S3 – товар присутній на давачах товару 1 та 2 (ДТ1.1 і ДТ1.2, ДТ2.1 і ДТ2.2).

Гілки графа представляють дії по ввімкненню обладнання, за умови досягнення заданих умов. Таким чином гілки графа представляють наступні дії:

y0 – очікування спрацювання давачів товару;

y1 – перехід зі стану S0 в стан S1 пришивання і проклеювання по першій стороні (ввімкнення ШМ 1 і ПМ 1);

y2 – перебування в стані S1;

y3 – перехід зі стану S1 в стан S0 готовності устаткування до роботи;

y4 – перехід зі стану S1 в стан S2 пришивання і проклеювання по другій стороні (вимкнення ШМ 1 і ПМ 1, ввімкнення ШМ 2 і ПМ 2);

y5 – перехід зі стану S1 в стан S3 пришивання і проклеювання по обох сторонах (ввімкнення ШМ 1 і ПМ 1 та ввімкнення ШМ 2 і ПМ 2);

y6 – перехід зі стану S0 в стан S2 пришивання і проклеювання по другій стороні (ввімкнення ШМ 2 і ПМ 2);

y7 – перебування в стані S2;

y8 – перехід зі стану S2 в стан S0 готовності устаткування до роботи;

y9 – перехід зі стану S2 в стан S1 пришивання і проклеювання по другій стороні (вимкнення ШМ 2 і ПМ 2, ввімкнення ШМ 1 і ПМ 1);

y10 – перехід зі стану S2 в стан S3 пришивання і проклеювання по обох сторонах (ввімкнення ШМ 1 і ПМ 1 та ввімкнення ШМ 2 і ПМ 2);

y11 – перехід зі стану S0 в стан S3 пришивання і проклеювання по обох сторонах (ввімкнення ШМ 1 і ПМ 1 та ввімкнення ШМ 2 і ПМ 2);

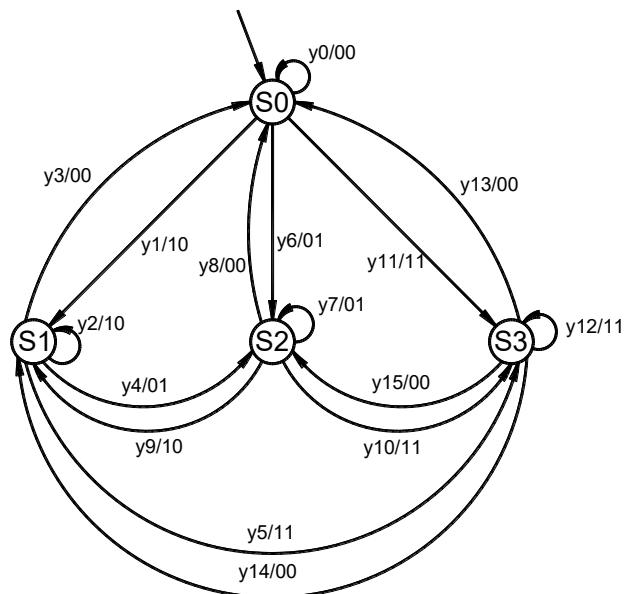


Рис. 2. Граф станів і переходів ввімкнення і роботи технологічних елементів схеми устаткування

- у12 – перебування в стані S3;
- у13 – перехід зі стану S3 в стан S0 готовності устаткування до роботи;
- у14 – перехід зі стану S3 в стан S1 пришивання і проклеювання по першій стороні (ввімкнення ШМ 1 і ПМ 1 та вимкнення ШМ 2 і ПМ 2);
- у15 – перехід зі стану S3 в стан S2 пришивання і проклеювання по другій стороні (ввімкнення ШМ 2 і ПМ 2 та вимкнення ШМ 1 і ПМ 1).

Переходи між станами відбуваються у відповідності до вихідних сигналів давачів наявності товару по першій та другій сторонах. Відповідно, ці сигнали є вхідними сигналами для даного графа. Тому маємо чотири комбінації:

- 00 – товар відсутній на обох сторонах;
- 10 – товар присутній на першій стороні;
- 01 – товар присутній на другій стороні;
- 11 – товар присутній на обох сторонах.

Даний граф станів та переходів реалізує роботу пристрою залежно від стану давачів наявності товару з одного або іншого боку транспортної стрічки. Але цей граф не враховує початковий етап ввімкнення устаткування. Як рекомендують в літературі [1], потрібно розділяти графи керування АСУ ТП на окремі під блоки. І для кожного розробляти окремий граф керування. Проте, граф опису станів ввімкнення устаткування є нескладним, тому як складається із станів нагрівання клеїльної машини, стану розгону двигуна транспортної стрічки і після цього переходу до графу станів і переходів ввімкнення і роботи технологічних елементів схеми устаткування (рис. 3).

На даному графі позначаються наступні стани:

- 1a, 1б – стани нагрівання поклеєних машин з одного боку і з другого боку конвеєра;
- 2 – стан запуску конвеєрної стрічки;
- 3a, 3б – стани опитування давачів наявності товару з кожної сторони конвеєру;
- 4a, 4б – ввімкнення швейних машин;
- 5a, 5б – ввімкнення двигунів клеїльних машин.

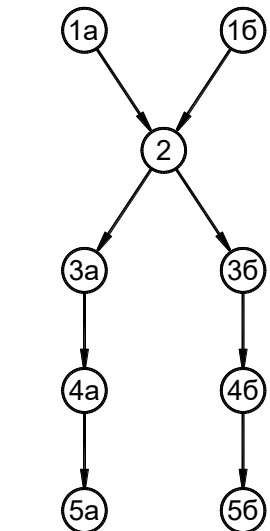


Рис. 3. Граф станів і переходів ввімкнення устаткування

Граф системи автоматичного керування машини пришивання і проклеювання дозволяє розробити пристрій АСУ ТП. Проте, якщо окремі елементи схеми виходять з ладу наслідок різноманітних чинників, система не дозволяє визначати точку схеми, що вийшла з ладу. Це може спричинити поломки обладнання і навіть травматизм працівників. Тому у відповідності із стратегією технічного обслуговування, потрібно проаналізувати граф станів та переходів АСУ ТП, визначити напрямки удосконалення схеми для підвищення надійності схеми.

У відповідності із стратегіями технічного обслуговування [3], потрібно контролювати стан ввімкнення окремих елементів схеми у заданій послідовності. Відповідно до розробленого вище технологічного процесу виготовлення килимового виробу із бахромою, потрібно спочатку нагріти клеїльну машину, потім запустити конвеєрну стрічку, а після цього запустити процес пришивання і проклеювання. Таким чином, перш ніж вмикати швейні машини і клеїльні машини, потрібно переконавшись, що транспортна стрічка рухається у потрібному напрямку, по якій подається товар. А перед тим, як вмикати двигун тяги транспортера, потрібно переконавшись, що клеїльна машина нагрілась до заданої температури. При чому, під час роботи устаткування потрібно контролювати чи усі елементи схеми знаходяться у працездатному стані. Для врахування усіх перерахованих особливостей технічної діагностики і потреб підвищення потрібно провести аналіз послідовності ввімкнення окремих елементів схеми та розробити граф підсистеми функціональної діагностики АСУ ТП.

На графі рис. 3 кожен наступний стан можливий лише за умови безвідмовної роботи попереднього стану. Якщо перехід у попередній стан відбувся з помилкою, або не відбувся, наступний стан не повинен наступити. Таким чином, цей граф переходів повинен бути доопрацьований, виходячи з умов забезпечення надійності роботи устаткування. У ньому повинні бути реалізовані аварійні стани устаткування. Отже, модернізований граф, що реалізує визначення аварійних станів, наведено на рис. 4.

На даному графі введено стани a.1 – a.5, що відображають аварійні стани відповідних підсистем устаткування. Перехід графа у будь-який із аварійних станів приводить до зупинки усього пристрою і відповідної сигналізації про аварійний стан. Засоби визначення аварійного стану можуть відрізнятися за сфо-технічними і конструктивними рішеннями. Обрання конкретного способу визначається на етапі розробки схеми електричної принципової і залежить від необхідного рівня забезпечення безвідмовної роботи.

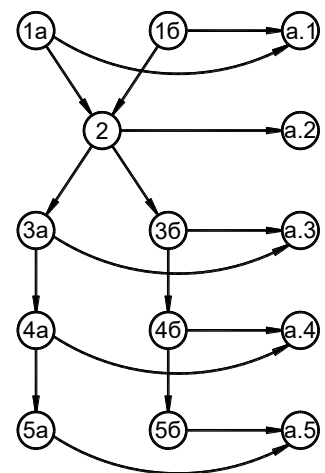


Рис. 4. Удосконалений граф станів і переходів ввімкнення устаткування

Цей граф дозволяє проводити автоматичне діагностування працездатності кожного відповідального блоку АСУ ТП. З іншого боку, як було визначено у завданнях проектування, необхідно забезпечити і безпечну роботу пристрою. Задачі безпечної роботи пристрою визначені вище. Для визначення необхідних до введення у систему блоків потрібно проаналізувати технологічну схему пристрою і граф станів та переходів, на предмет виникнення станів що становлять загрозу здоров'ю або життю людини.

Виходячи із аналізу технологічної схеми устаткування для пришивання і проклеювання бахроми до килимового виробу, можна виділити декілька точок, що можуть становити небезпеку для здоров'я та життя людини. Такими точками є:

- машини проклеювання (висока температура, механічні передачі);

- швейні машини (механічні передачі);

- конвеєрна стрічка (оберткові механізми, висока напруга – ~380В)

- шафа керування (висока напруга – ~380В).

В кожному випадку необхідно застосовувати різні методи підвищення безпеки, їх вибір і обґрунтування потрібно буде проводити на етапі конструювання пристрою. Але в загальному граф роботи устаткування потрібно удосконалити з урахуванням вказаних негативних чинників з метою підвищення безпеки. Отже, модернізований граф, що реалізує визначення аварійних станів та підвищення безпеки, наведено на рис. 5.

При виникненні будь-якого зі станів (6.1 – 6.5), що становлять небезпеку життю і здоров'ю людини, розривається ланцюжок графа і система на може перейти у стан готовності до ввімкнення – 0. Таким чином, відбувається безумовне припинення роботи устаткування.

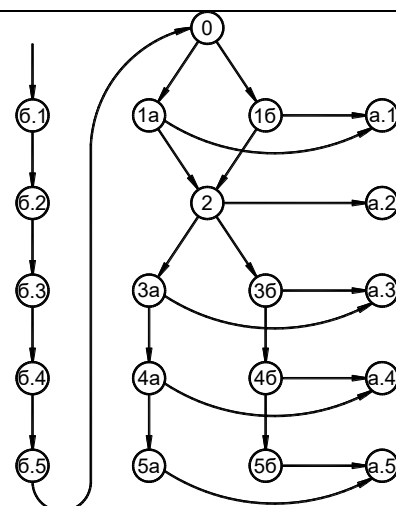


Рис. 5. Удосконалений граф станів і переходів ввімкнення устаткування з урахуванням вимог підвищення безпеки обладнання

### Висновки

В результаті проведених досліджень було запропоновано проводити розробку системи АСУ ТП керування устаткуванням пришивання і проклеювання бахроми до килимових виробів із застосуванням теорії графів. Було визначено що задачі підвищення надійності і підвищення безпеки устаткування потребують відповідного аналізу графу станів та переходів устаткування, що розробляється, та його модернізації виходячи із вимог надійності та безпеки. Під час виконання обох цих задач виникає протиріччя внаслідок того, що для підвищення безпеки потрібно вводити додаткові блоки і модулі, що знижує надійність і навпаки. Запропоновано модернізований граф станів і переходів АСУ ТП керування устаткуванням пришивання і проклеювання бахроми до килимових виробів, в якому введені відповідні стани, що контролюють надійність і стани, що забезпечують безпеку.

### Література

1. IEC 61508 Edition 2.0 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Guidance on Failure Modes & Effects Analyses (FMEAs)
2. Spritzer C. Digital Avionics Handbook, Second Edition. 2 Volume Set. Electrical Engineering Handbook. CRC Press.
3. Мандзий Б.А. Определение параметров стратегии аварийного восстановления для отказоустойчивых систем на основе мажоритарной структуры / Б.А. Мандзий, Б.Ю. Волочий, Л.Д. Озирковский, М.М. Змысний, И.В. Кулык // Труды международного симпозиума “Надежность и качество” ; под ред. Н.К. Юркова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, Россия, 2011, Т. 2. – С. 52–57.

### References

1. IEC 61508 Edition 2.0 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Guidance on Failure Modes & Effects Analyses (FMEAs)
2. Spritzer C. Digital Avionics Handbook, Second Edition. 2 Volume Set. Electrical Engineering Handbook. CRC Press.
3. Mandzij B.A. Opredelenie parametrov strategii avarijnogo vosstanovleniya dlya otkazoustojchivyh sistem na osnove mazhoritarnoj struktury / B.A. Mandzij, B.Yu. Volochij, L.D. Ozirkovskij, M.M. Zmysnyj, I.V. Kulyk // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma “Nadezhnost i kachestvo” ; pod red. N.K. Yurkova. – Penza : Izd-vo Penz. gos. un-ta, Rossiya, 2011, T. 2. – S. 52–57.

Рецензія/Peer review : 27.11.2021

Надрукована/Printed :30.12.2021