***Для цитирования:*** *Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Мироненко И.Г., Челушкина Т.А. Диагностирование групп электрорадиоизделий по переходным характеристикам для обнаружения дефектов на функциональных ячейках. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;43 (4):53-62. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-53-62*
***For citation:*** *Ismailov T. A., Hajiyev Kh. M., Mironenko I. G., Chelushkina T. A. Diagnosis of groups of electro-radio components according to the transient responses for the detection of defects on the functional cells. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 43 (4):53-62. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-53-62*

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**УДК УДК 681.2.083**
**DOI:** 10.21822/2073-6185-2016-43-4-53-62

# ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГРУПП ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЯЧЕЙКАХ

***Исмаилов Т.А.[1], Гаджиев Х.М.[3], Мироненко И.Г.[2], Челушкина Т.А[4].***
*[134]Дагестанский государственный технический университет,*
*367015, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70*
*[2]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова*
*197376, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, 5*
*[1]e-mail:dstu@dstu.ru,[2]e-mail:frt@eltech.ru,*
*[3]e-mail:gadjiev.xad@mail.ru,[4]e-mail:tatyana.cheluschkina@yandex.ru*

***Резюме: Цель.*** *Разработка метода диагностирования электрорадиоустройств с минимальным усложнением контрольно-измерительной аппаратуры и возможностью получения информации с точек контроля внутри функционирующих устройств.* ***Методы.*** *Разработан метод контроля групп электрорадиоизделий, который предполагает прохождение контролирующего воздействия через пару контрольных точек, соединенных через несколько электрорадиоизделий. При этом каждое электрорадиоизделие вносит свою долю в преобразование выходного параметра, поэтому при несоответствии его допустимым значениям для идентификации дефектного электрорадиоизделия требуется оценить значения математического ожидания вероятного дефекта каждого электрорадиоизделия на схеме с целью фиксации. В качестве неисправного компонента в электронной схеме принимается тот, у которого будет минимальная дисперсия, причем величина дефекта будет соответствовать математическому ожиданию величины параметра этого электрорадиоизделия.* ***Результат.*** *В результате контроля не более десяти групп электрорадиоизделий на функциональных ячейках можно оценить дефектный элемент, сравнивая дисперсии рассчитанных значений каждого электрорадиоизделия и сам параметр соответствующего электрорадиоизделия.* ***Вывод.*** *Диагностирование групп электрорадиоизделий по переходным характеристикам для обнаружения дефектов на функциональных ячейках позволяет повысить эффективность контрольных операций и достоверность поиска неисправностей в современной электронной аппаратуре.*

***Ключевые слова:*** *диагностирование, электрорадиоизделие, контрольная точка, переходные характеристики, функциональная ячейка*

**TECHICAL SCIENCE**
**POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING**

# DIAGNOSIS OF GROUPS OF ELECTRO-RADIO COMPONENTS ACCORDING TO THE TRANSIENT RESPONSES FOR THE DETECTION OF DEFECTS ON THE FUNCTIONAL CELLS

***Tagir A.Ismailov [1], Igor G. Mironenko [2], Khadzhimurat M. Gajiyev [3], Tatiana A. Chelushkina[4].***
*[134]Dagestan State Technical University,*
*70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia,*
*[2] Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»,*
*5 Professor Popov Str., St. Petersburg 197376, Russia*
*[1]e-mail:dstu@dstu.ru,[2]e-mail:frt@eltech.ru,*
*[3]e-mail:gadjiev.xad@mail.ru,[4]e-mail:tatyana.cheluschkina@yandex.ru*

***Abstract: Objectives.*** *A method for diagnosing electronic components with minimally complicated control and measuring instrumentation and the ability to obtain information from internal control points of operating units is developed.* ***Methods.*** *The developed method for control of groups of electronic components presupposes the passage of a controllable influence through a few control points, connected via several electronic components. In addition, each electronic component contributes its share to the transformation of the parameter output, so the discrepancy of its allowable values for the identification of defective electronic component are required to assess the implication of the expected value of the probable defect of each electronic component in the schema with the aim of isolating it. The faulty component in the electronic circuit is identified by the minimum estimated variance, by which the magnitude of the defect will match the expected value of the electronic component parameter.* ***Results.*** *As a result of the control no more than ten groups of electrical components on functional cell matrices can be assessed as having a defective element by comparing the calculated variance values for each electrical component and the corresponding electrical component parameter itself.* ***Conclusion.*** *Diagnosing groups of electric components on transient characteristics for the detection of defects in the functional cell matrices enables efficiency control operations improvement and troubleshooting in the search for modern electronic equipment reliability.*

***Keywords****: diagnostics, electrical components, control point, transient response, function cell matrices*

**Введение.** Современная радиоэлектронная аппаратура имеет тенденцию к увеличению числа и типов электронных компонентов, применяемых в составе изделия, а также к возрастанию степени интеграции и применении сверхбольших интегральных схем (СБИС) [2,12]. Помимо компьютерных процессоров большое количество дефектов современной электронной аппаратуры приходится на мощные компоненты вычислительных систем с высокими тепловыделениями, для которых также необходимо организовывать высокоэффективные системы термостатирования для предотвращения термических ударов и тепловых пробоев [15,16,17].

**Постановка задачи.** Повышение степени интеграции электронных компонентов и возрастание количества дефектов приводит к резкому увеличению количества диагностических операций, усложнению контрольно-измерительной аппаратуры и возникновению проблем по получению информации с точек контроля внутри функционирующих устройств [8,13]. Существующая методика поэлементного диагностирования предполагает коммутирование каждого электрорадиоизделия (ЭРИ) и контроль его параметров при условии уменьшения шунтирующего влияния соседних ЭРИ. Однако такой метод недостаточно эффективен [9].

**Методы исследования.** В статье разработан метод контроля групп ЭРИ, который предполагает прохождение контролирующеговоздействия через пару контрольных точек (КТ), соединенных через несколько ЭРИ. При этом каждое ЭРИ вносит свою долю в преобразование выходного параметра, поэтому при несоответствии его допустимым значениям возникает неопределенность при идентификации дефектного ЭРИ [11,14].

В качестве выходного параметра группы может быть выбран любой параметр, например, сопротивление, емкость, индуктивность между парой КТ. Однако в этом случае понадобятся специализированные измерители, кроме того, влияние некоторых ЭРИ будет в значительной степени зависеть от выбранного выходного параметра группы [1,18].

Например, если контролируется активное сопротивление между парой КТ выбранной группы, то влияние параметров резисторов будет превышать влияние конденсаторов и катушек индуктивности. Аналогичная ситуация возникает, если использовать в качестве выходного параметра емкость или индуктивность группы [3,20].

Дополнительным недостатком такого подхода является то, что эти параметры измеряются в статических режимах, поэтому требуется дополнительное время на завершение переходных процессов [4]. В то же время этот недостаток может быть использован в качестве основного преимущества, если применить переходную характеристику группы ЭРИ в качестве выходного совокупного параметра [6,7,8]. Это позволит уравнять влияние разнотипных ЭРИ в группе, так как все они имеют определенные переходные характеристики вне зависимости от типа [19]. Причем возможен контроль дефектов не только пассивных (R,C,L) и активных (p-n-переходы диодов, стабилитронов, варикапов, транзисторов, тиристоров и т. д.) ЭРИ, но и обнаружение дефектов микросхем и микросборок, которые имеют для каждой пары КТ свои переходные характеристики [18]. В результате сравнения переходных характеристик эталонной и контролируемой функциональной ячейки (ФЯ) возможно обнаружение наличия дефекта.

Традиционные методики не позволяют с требуемой достоверностью провести определение дефектного ЭРИ, так как на выходной совокупный параметр группы может оказать влияние отклонение параметра любого ЭРИ этой группы, либо даже нескольких ЭРИ одновременно [10]. Причем весьма вероятна ситуация, при которой параметры ЭРИ не выходят за граничные значения допусков [13]. Однако их совокупное воздействие на выходной параметр группы вызывает значительное отклонение [11]. Поэтому возможна лишь констатация соответствия допустимым значениям выходного совокупного параметра группы.

В случае выхода за поле допуска выходного параметра осуществляется ориентировочное указание вида дефекта, вызвавшего соответствующее отклонение этого параметра [18]. Однако допустимо проведение диагностирования с точностью до отдельного ЭРИ в случае контроля нескольких групп, проверяемых ЭРИ на ФЯ с последующим анализом дефектов, вызывающих соответствующие отклонения выходных совокупных параметров для каждой группы.

Множество вероятных дефектных значений для каждого ЭРИ даст множество отклонений параметров для каждой группы [6]. Пользование такими таблицами соответствия невозможно для обнаружения дефектного ЭРИ из-за необходимости сравнения колоссальных массивов информации (требующих значительных объемов машинной памяти) для обнаружения искомого дефекта [7]. Поэтому требуется не табличное сравнение дефектов, а аналитическое вычисление дефектного ЭРИ [13].

На выходной параметр группы ЭРИ может оказать влияние любой ЭРИ этой группы, каждый в соответствии со своим коэффициентом влияния, но после контроля нескольких групп ЭРИ должны быть выявлены, как дефектные, только те ЭРИ, которые во всех этих случаях показали одинаковое отклонение ЭРИ от номинального значения, так как параметр дефектного ЭРИ не может менять своего значения в зависимости от изменения точек подключения к контролируемым группам ЭРИ.

Преимуществом такого подхода является также то, что возможно для определения работоспособности схемы отказаться от использования игольчатого контактирующего устройства (ИКУ) и осуществить проверку ФЯ через его разъем, контакты которого соединены через группы ЭРИ. Задача облегчается тем, что этап контроля ФЯ после сборочных операций необходим только для того, чтобы при передаче ФЯ на регулировку не произошло дополнительных отказов при подаче напряжения питания [5,7]. Опыт работы по контролю ФЯ показал, что такие отказы возможны только при наличии коротких замыканий и обрывов, а также отклонения некоторых параметров ЭРИ свыше 50% от номинального значения [5,11].

Таким образом, задача контроля упрощается, так как необходимо диагностирование значительного изменения параметров ЭРИ [19]. Однако диагностирование ЭРИ с погрешностью 10% требует применение ИКУ или щупов [20]. Поэтому целесообразно процедуру контроля дефектных ЭРИ в схемах устройств построить в два этапа.

На первом этапе все ФЯ после сборки контролируются через разъем для определения наличия значительных дефектов. При отсутствии таковых ФЯ передаются на регулировку. Если же на первом этапе выявлены отклонения контролируемых параметров, то схемы подключаются через ИКУ для локализации дефектных ЭРИ, а затем поступают на ремонт.

На примере построения математической модели (ММ) зависимости параметров ЭРИ и выходного совокупного параметра группы ЭРИ можно рассмотреть создание диагностического теста, процедуру поиска и нахождения дефектного ЭРИ методом группового контроля [6,7,10].

Необходимо установить зависимость между параметрами ЭРИ $X_1,X_2,\dots X_M$ и выходным совокупным параметром группы Y

$$Y = f(X_1, X_2, \dots X_M). \quad (1)$$

**Обсуждение результатов.** Для определения влияния параметров ЭРИ на выходной совокупный параметр было проведено исследование. Входным факторам было задано изменение во всем диапазоне допустимых значений. Параметры ЭРИ принимали следующие значения: короткое замыкание, -50%, -10%, номинальное значение, +10%, +50%, обрыв.

Варьирование параметров задавалось вначале поочередно для каждого фактора, а затем совместно для двух, трех и более факторов одновременно, при этом проводилось определение выходного совокупного параметра и расчет коэффициента влияния для каждого фактора в отдельности и коэффициентов совместного взаимовлияния нескольких факторов одновременно.

В результате проведенного исследования установлена линейная зависимость выходного параметра Y для каждого входного параметра X, варьируемого во всем диапазоне допустимых значений, причем корреляционная зависимость между факторами отсутствовала (очевидно, что параметр одного ЭРИ не оказывает влияния на параметр другого ЭРИ и влияние их на выходной параметр независимо).

Так как параметры ЭРИ в схемах не имеют корреляционной зависимости, то электронную схему можно выразить в виде уравнения гиперплоскости (M+1) - мерном пространстве:

$$Y = A_{(0)} + A_{(1)}X_{(1)} + A_{(2)}X_{(2)} + \dots + A_{(I)}X_{(I)} + \dots , \quad (2)$$

где, $A_{(I)}$ - коэффициент влияния I-го фактора.

Такие ММ необходимо строить для подключения к каждой паре КТ на электронной схеме. Соответственно для каждого К-гоподключения будет создана своя модель:

$$Y_{(K)} = A_{(0,K)} + A_{(1,K)}X_{(1)} + A_{(2,K)}X_{(2)} + \dots + A_{(I,K)}X_{(I)} + \dots , \quad (3)$$

где, $Y_{(K)}$ - совокупный выходной параметр при К-ом подключении, $A_{(I,K)}$ - коэффициент влияния I-го фактора при К-ом подключении.

Для сбора диагностического теста необходимо определить коэффициенты влияния каждой модели. Лучше всего использовать эталонную ФЯ, содержащую ЭРИ с номинальными значениями параметров.

В этом случае, при каждом подключении к парам КТ, ФЯ будет иметь вид:

$$Y_{(K,N)} = A_{(0,K)} + A_{(1,K)}X_{(1,N)} + A_{(2,K)}X_{(2,N)} + \cdots + A_{(I,K)}X_{(I,N)} + \cdots , \quad (4)$$

где, $Y_{(K,N)}$ - номинальное значение совокупного выходного параметра при К-ом подключении; $X_{(I,N)}$ - номинальное значение I-го фактора.

Для определения коэффициентов влияния можно воспользоваться различными методами, однако, так как коэффициенты влияния достаточно детерминированы для случая влияния параметров ЭРИ на выходной совокупный параметр, можно перейти к относительным координатам, воспользовавшись разовыми значениями как самих параметров ЭРИ, так и выходного параметра группы из уравнения (3). Вычитая из уравнения (4) уравнение (3) получим:

$$Y_{(K)} - Y_{(K,N)} = A_{(1,K)}\left[(X]_{(1)} - X_{(1,N)}\right) + A_{(2,K)}\left(X_{(2)} - X_{(2,N)}\right) + \cdots . \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что можно определить коэффициенты влияния поочередно, задавая изменения каждого фактора в отдельности, сохраняя номинальные значения остальных ЭРИ, тем самым обнуляя соответствующие члены полинома. В этом случае уравнение (5) примет вид:

$$Y_{(K)} - Y_{(K,N)} = A_{(I,K)}\left[(X]_{(I)} - X_{(I,N)}\right) \quad (6)$$

Преобразовав, найдем коэффициент влияния:

$$A_{(I,K)} = \frac{Y_{(K)} - Y_{(K,N)}}{\left[(X]_{(I)} - X_{(I,N)}\right)}. \quad (7)$$

Воспользовавшись уравнением (7) можно определить коэффициенты влияния для каждого фактора (параметра ЭРИ), для всех моделей (подключения соответствующей пары КТ).

После вычисления коэффициентов влияния каждого фактора будет построено множество ММ для каждой подключаемой пары КТ.

При диагностировании контролируемой схемы, содержащей дефектное ЭРИ, измеряя совокупный параметр каждой группы, можно получить различные значения отклонений этого параметра от номинального значения на эталонной схеме.

Преобразование уравнения (7) относительно параметра ЭРИ, приводит к уравнению:

$$X_{(I)} = \frac{Y_{(K)} - Y_{(K,N)}}{A_{(I,K)}} + X_{(I,N)} . \quad (8)$$

Решая это уравнение, можно определить, какую величину отклонения должно иметь каждое ЭРИ для того, чтобы обеспечить измеренное отклонение совокупного выходного параметра. Дня каждой группы будет получено свое значение величины параметра для каждого фактора при условии, что отклонение величины выходного параметра вызвано именно этим фактором. Естественно, что эти величины будут иметь случайный характер, поэтому необходимо вычислить оценки математического ожидания (9) и дисперсии (10):

$$M_{(I)} = \sum_{I=1}^{N} \frac{X_{(I,J)}}{N} , \quad (9)$$

$$D_{(I)} = \sum_{I=1}^{N} \frac{\left(X_{(I,J)} - M_{(I)}\right)^2}{N} , \quad (10)$$

где, $M_{(I)}$ - оценка математического ожидания$X_{(I)}$-го фактора;$D_{(I)}$ - оценка дисперсии $X_{(I)}$-го фактора.

Для выявления закономерности влияния дефектного ЭРИ на выходные совокупные параметры каждой группы было проведено исследование. Каждому ЭРИ на ФЯ было задано отклонение параметра (короткое замыкание, -50%, -10%, номинальное значение, +10%, +50%, обрыв) с последующим контролем отклонений выходных совокупных параметров для каждой группы и вычислением по формуле (8) вероятного значения параметра для каждого ЭРИ при каждом подключении. Установлено, что тот параметр, отклонение которого имитировало дефект, имеет расчетные значения для каждого подключения наиболее близкие между собой и равные дефектному значению. Другие ЭРИ имеют расчетные значения для каждого подключения с большим разбросом, причем величина разброса существенно отличается от разброса дефектного ЭРИ (в 3 и более раза).

На рис.1 изображена зависимость величины дисперсии расчетного значения отклонения параметра дефектного ЭРИ от величины этого отклонения.

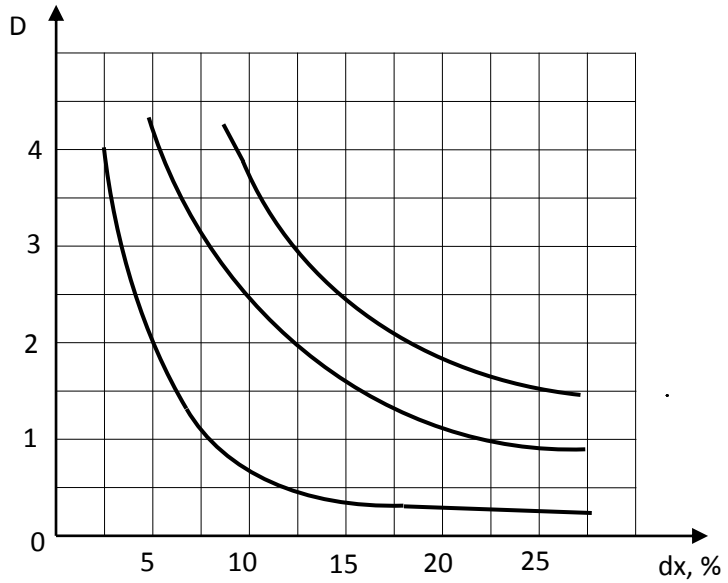



**Рис.1.Зависимость величины дисперсии расчетных значений отклонения параметра ЭРИ от величины этого отклонения**

**Fig.1. Dependence of the variance of the calculated values of the deviation of the electronic product parameter from the value of this deviation**

Разброс параметров семейства характеристик обусловлен статистическим рассеиванием значений параметров ЭРИ для различных групп ЭРИ и различных типов схем.

Физический смысл установленной закономерности заключается в том, что те ЭРИ, расчетные значения, оценки дисперсий которых минимальны, с большей вероятностью являются дефектными, так как параметры ЭРИ не могут меняться в процессе контроля.

Вероятность обнаружения дефектного ЭРИ зависит от количества проконтролированных групп: чем их больше, тем точнее осуществляется диагностирование проверяемого ЭРИ. На рисунке 2 изображена зависимость вероятности обнаружения дефектного ЭРИ на ФЯ от количества проконтролированных групп.

Исследование проводилось путем последовательного анализа партий, состоящих из тысячи схем каждого типа, на которых дефектные ЭРИ определялись в результате поочередного анализа 3-20 групп. Анализ зависимости, изображенной на рис. 2, позволяет сделать вывод, что увеличение числа контролируемых групп в электронных схемах свыше 10 практически не оказывает влияния на повышение вероятности обнаружения дефектных ЭРИ на ФЯ, которая определялась как:

$$P = \left(\frac{N}{M}\right) \cdot 100\% , \quad (11)$$

где, P - вероятность обнаружения дефектного ЭРИ; N - количество обнаруженных дефектных ЭРИ во всей партии проверяемых ФЯ; M - общее число реально имеющихся дефектов в этой партии ФЯ.

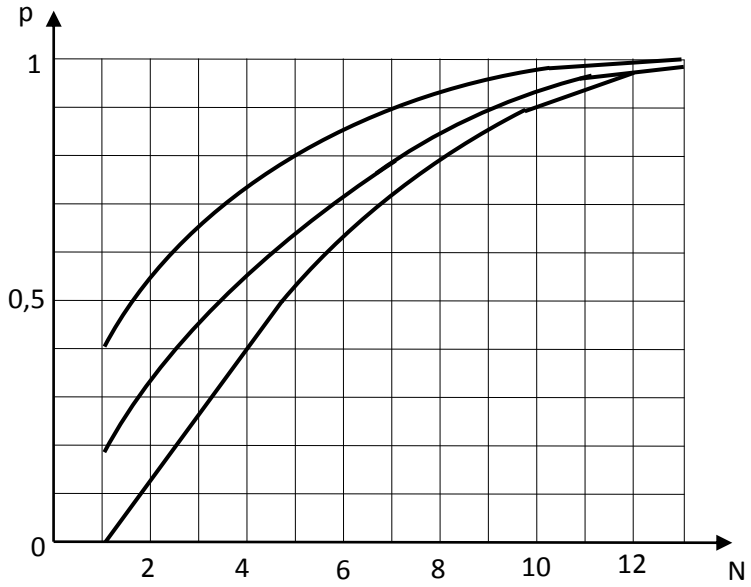



**Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения дефектного ЭРИ в электронной схеме от количества проконтролированных групп ЭРИ**

**Fig. 2. Dependence of the probability of detection of defective electrical products in the electronic circuit from the number of monitored groups of electronic products**

**Вывод.** В результате контроля не более десяти групп ЭРИ на ФЯ можно оценить дефектный элемент, сравнивая дисперсии рассчитанных значений каждого ЭРИ и сам параметр соответствующего ЭРИ (математическое ожидание). В случае если отклонение параметра ЭРИ от номинального значения менее 10%, такой элемент из рассмотрения исключается как исправный, а список подозреваемых дефектных ЭРИ выводится на печать в соответствии с вычисленным значением математического ожидания и величиной дисперсии этого значения.

Диагностирование групп ЭРИ по переходным характеристикам для обнаружения дефектов на ФЯ позволяет повысить эффективность контрольных операций и достоверность поиска неисправностей в современной электронной аппаратуре.

**Библиографический список:**

1. Granichin O.N., Amelina N.O. Simultaneous perturbation stochastic approximation for tracking under unknown but bounded disturbances. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2015, vol.60, no.6, pp.1653-1658, DOI: 10.1109/TAC.2014.2359711.

2. KlyatchenkoYa. Determination of hardware on fpga operational probabilities under conditions with distortion of logical signals. *Informatsiyni tekhnologiï ta kompyuterna inzheneriya.* 2015, no.3(34), pp. 9-12.

3. Rybin Y.K. The nonlinear distortions in the oscillatory system of generator on CFOA. *Active and Passive Electronic Components*. 2012, vol. 2012, pp. 908716, DOI: 10.1155/2012/908716.

4. Scibilia F., Hovd M., Olaru S. Explicit model predictive control VIA Delaunay tessellations. *Journal europeen des SystemesAutomatises*. 2012, vol.46, no.2-3, pp. 267-290, DOI: 10.3166/JESA.46.267-290.

5. Sobchuk N., Slobodianiuk O. Determination of optimal value of testing voltage for efficient control of the insulation. *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*. 2016, no.2, pp. 65-69.

6. Wang L., Sun L., Hong J. Modified equations for weakly convergent stochastic symplectic schemes via their generating functions. *BIT Numerical Mathematics*. 2016, vol.56, no.3, pp.1131-1162, DOI: 10.1007/s10543-015-0583-8.

7. Антонов А.В., Никулин М.С. Статистические модели в теории надежности. – С.-Пб.: «Абрис», 2012. – 392 с.

8. Бржозовский Б.М., Мартынов В.В., Схиртладзе А.Г. Диагностика и надежность автоматизированных систем. – Ст. Оскол: «ТНТ», 2013. – 352 с.

9. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем. – М.: «Ленанд», 2016. – 256 с.

10. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. – М.: «Либроком», 2013. – 584 с.

11. Дорохов А.Н., Керножицкий В.А., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л. Обеспечение надежности сложных технических систем. – С.-Пб.: «Лань», 2011. – 352 с.

12. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д. Применение многокаскадных термоэлектрических модулей для охлаждения процессора компьютера // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2004. - №7. – С. 25-29.

13. Каштанов В.А., Медведев А.И. Теория надежности сложных систем. – М.: «Физматлит», 2010. – 608 с.

14. Оуэн Бишоп Электронные схемы и системы (ElectronicsCircuitsandSystems). – М.: «ДМК-Пресс», 2016. – 576 с.

15. Патент RU №2360380, МПК: H05K 7/20, G06F 1/20. Устройство для термостатирования компьютерного процессора / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д. // Опубл. 27.06.2009. Бюл. №18.

16. Патент RU №2256946, МПК: G05D23/20, F25B21/02. Термоэлектрическое устройство терморегулирования компьютерного процессора с применением плавящегося вещества / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Гафуров К.А.// Опубл. 20.07.2005. Бюл. №20.

17. Патент RU №2369894, МПК: G05D23/22, H01L35/28.Термоэлектрическое устройство термостабилизации компонентов вычислительных систем с высокими тепловыделениями / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д. // Опубл. 27.03.2009. Бюл. №28.

18. Петров В.П. Регулировка, диагностика и мониторинг работоспособности смонтированных узлов, блоков и приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники. Учебник. – М.: «Академия», 2016. – 224 с.

19. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Учебник. – Р.н/Д.: «Феникс», 2017. – 448 с.

20. Шишмарев В.Ю. Диагностика и надежность автоматизированных систем. - М.: «Академия», 2013. – 352 с.

**References:**

1. Granichin O.N., Amelina N.O. Simultaneous perturbation stochastic approximation for tracking under unknown but bounded disturbances. IEEE Transactions on Automatic Control. 2015;60(6):1653-1658. DOI: 10.1109/TAC.2014.2359711.

2. Klyatchenko Ya. Determination of hardware on fpga operational probabilities under condi-tions with distortion of logical signals. Informatsiyni tekhnologiï ta komp‘yuterna inzheneriya. [Information technologies and computer engineering (In Ukr.)]. 2015; 3(34):9-12.

3. Rybin Y.K. The nonlinear distortions in the oscillatory system of generator on CFOA. Active and Passive Electronic Components. 2012. DOI: 10.1155/2012/908716.
4. Scibilia F., Hovd M., Olaru S. Explicit model predictive control VIA Delaunay tessellations. Journal Europeen des Systemes Automatises. 2012;46(2-3):267-290. DOI: 10.3166/JESA.46.267-290.
5. Sobchuk N., Slobodianiuk O. Determination of optimal value of testing voltage for efficient control of the insulation. Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. 2016;2:65-69.
6. Wang L., Sun L., Hong J. Modified equations for weakly convergent stochastic symplectic schemes via their generating functions. BIT Numerical Mathematics. 2016:56(3):1131-1162. DOI: 10.1007/s10543-015-0583-8.
7. Antonov A.V., Nikulin M.S. Statisticheskie modeli v teorii nadezhnosti. S.-Pb.: Abris; 2012. 392 s. [Antonov A.V., Nikulin M.S. Statistical models in the reliability theory. St. Petersburg: Abris; 2012. 392 p. (In Russ.)]
8. Brzhozovskiy B.M., Martynov V.V., Skhirtladze A.G. Diagnostika i nadezhnost avtomatizirovannykh sistem. St. Oskol: TNT; 2013. 352 s. [Brzhozovskiy B.M., Martynov V.V., Skhirtladze A.G. Diagnostics and reliability of automated systems. Stary Oskol: TNT; 2013. 352 p. (In Russ.)]
9. Viktorova V.S., Stepanyants A.S. Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem. M.: Lenand; 2016. 256 s. [Viktorova V.S., Stepanyants A.S. Models and methods for calculating the reliability of technical systems.Moscow: Lenand; 2016. 256 p. (In Russ.)]
10. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solovyov A.D. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti. Osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz. M.: Librokom; 2013. 584 s. [Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solovyov A.D. Mathematical methods in reliability theory. The main characteristics of reliability and its statistical analysis. Moscow: Librokom; 2013. 584 p. (In Russ.)]
11. Dorokhov A.N., Kernozhitskiy V.A., Mironov A.N., Shestopalova O.L. Obespechenie nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem. S.-Pb.: Lan; 2011. 352 s. [Dorokhov A.N., Kernozhitskiy V.A., Mironov A.N., Shestopalova O.L. Ensuring the reliability of complex technical systems. St. Petersburg: Lan; 2011. 352 p. (In Russ.)]
12. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D. Primenenie mnogokaskadnykh termoelektricheskikh moduley dlya okhlazhdeniya protsessora kompyutera. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie. 2004;7:25-29. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D. The use of multi-stage thermoelectric modules for cooling computer processors. News of Higher Institutions. Instrument engineering. 2004;7:25-29. (In Russ.)]
13. Kashtanov V.A., Medvedev A.I. Teoriya nadezhnosti slozhnykh sistem. M.: Fizmatlit; 2010. 608 s. [Kashtanov V.A., Medvedev A.I. The theory of the complex systems reliability. Moscow: Fizmatlit; 2010. 608 p.(In Russ.)]
14. Ouen Bishop Elektronnyye skhemy i sistemy (ElectronicsCircuitsandSystems). M.: DMK-Press; 2016. 576 s. [Owen Bishop. Electronic Circuits and Systems. Moscow: DMK-Press; 2016. 576 p. (In Russ.)]
15. Ismailov T.A., Gadjiev Kh.M., Gadjieva S.M., Nezhvedilov T.D. Ustroystvo dlya termostatirovaniya kompyuternogo protsessora. Patent RU №2360380, MPK: H05K 7/20, G06F 1/20. Byul. №18. Opubl. 27.06.2009. [Ismailov T.A., Gadjiev Kh.M., Gadjieva S.M., Nezhvedilov T.D. A device for temperature control of computer processor.Patent RU №2360380, IPC: H05K 7/20, G06F 1/20. Bull. №18. Publ. 27.06.2009. (In Russ.)]
16. Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Gadjiyeva S.M., Nezhvedilov T.D., Gafurov K.A. Termoelektricheskoye ustroystvo termoregulirovaniya kompyuternogo protsessora s primeneniem plavyashchegosya veshchestva. Patent RU №2256946, MPK: G05D23/20, F25B21/02. Byul. №20. Opubl. 20.07.2005. [Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Gadjiyeva S.M., Nezhvedilov T.D., Gafurov K.A.The thermoelectric device is a computer processor using thermal melting of

the substance. Patent RU №2256946, IPC: G05D23/20, F25B21/02. Bull. №20. Publ. 20.07.2005. (In Russ.)]

17. Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Gadjiyeva S.M., Nezhvedilov T.D. Termoelektricheskoye ustroystvo termoctabilizatsii komponentov vychislitelnykh sistem s vysokimi teplovydeleniyami. Patent RU №2369894, MPK: G05D23/22, H01L35/28. Byul. №28. Opubl. 27.03.2009. [Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Gadjiyeva S.M., Nezhvedilov T.D.The thermoelectric device termoctabilizatsii components of computer systems with high heat. Patent RU №2369894, IPC: G05D23/22, H01L35/28. Bull. №28. Publ. 27.03.2009. (In Russ.)]

18. Petrov V.P. Regulirovka, diagnostika i monitoring rabotosposobnosti smontirovannykh uzlov, blokov i priborov radioelektronnoy apparatury, apparatury provodnoy svyazi, elementov uzlov impulsnoy i vychislitelnoy tekhniki. Uchebnik. M.: Akademiya; 2016. 224 s. [Petrov V.P. Adjustment, diagnostics and monitoring of working capacity of installed nodes, blocks and devices of electronic equipment, wireless communication equipment, components and assemblies pulse computing. Textbook. Moscow: Akademiya; 2016. 224 p. (In Russ.)]

19. Shishmarev V.Yu. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v mashinostroenii. Uchebnik. Rostov na Donu: Feniks; 2017. 448 s. [Shishmarev V.Yu. Automation of production processes in industry. Textbook. Rostov-on-Don: Feniks; 2017. 448 p. (In Russ.)]

20. Shishmarev V.Yu. Diagnostika i nadezhnost avtomatizirovannykh sistem. M.: Akademiya; 2013. 352 s. [Shishmarev V.Yu. Diagnostics and reliability of automated systems. Moscow: Akademiya; 2013. 352 p. (In Russ.)]

**Сведения об авторах.**

**Исмаилов Тагир Абдурашидович –** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники. Ректор Дагестанского государственного технического университета, Заслуженный деятель науки РФ.

**Мироненко Игорь Германович –** доктор технических наук, профессор.

**Гаджиев Хаджимурат Магомедович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций.

**Челушкина Татьяна Алексеевна –** кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра теоретической и общей электротехники.

**Information about the authors.**

**Tagir A.Ismailov –** Dr. Sc.(Technical), Prof., Department of theoretical and General electrical engineering. The rector Dagestan State Technical University. Honored worker of science of the Russian Federation.

**Igor G.Mironenko –** Dr. Sc.(Technical), Prof.

**Khadzhimurat M.Gajiyev** – Cand. Sc.(Technical), Assoc. Prof., Department of theoretical and General electrical engineering.

**Tatiana A.Chelushkina** – Cand.Sc.(Technical), Senior Lecturer, Department of theoretical and General electrical engineering.

**Конфликт интересов** **Conflict of interest**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию** 27.09.2016. **Received** 27.09.2016.

**Принята в печать** 01.12.2016. **Accepted for publication** 01.12.2016.