

- Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1405.0312.pdf>. – Дата доступа: 20.12.2018.
13. Huang, J. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors / J. Huang, V. Rathod, C. Sun, M. Zhu, A. Korattikara, A. Fathi, I. Fischer, Z. Wojna, Y. Song, S. Guadarrama, K. Murphy // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2017. – P. 7310–7319.
14. Hui, J. What do we learn from single shot object detectors (SSD, YOLOv3), FPN & Focal loss (RetinaNet)? / J. Hui // Medium.com [Web-resource]. – 2018. – Режим доступа: [https://medium.com/@jonathan\\_hui/what-do-we-learn-from-single-shot-object-detectors-ssd-yolo-fpn-focal-loss-3888677c5f4d](https://medium.com/@jonathan_hui/what-do-we-learn-from-single-shot-object-detectors-ssd-yolo-fpn-focal-loss-3888677c5f4d). – Дата доступа: 20.12.2018.

Материал поступил в редакцию 15.02.2019

#### GOLOVKO V. A., KROSHCHENKO A. A., MIKHNO E. V. Neural network models of detection of goods on the image

In this paper we investigate applying of several common models to task of detection goods in images.

We implemented compare of most effective and widely used architectures as Faster R-CNN (ResNet50/101), SSD и YOLO. Received results confirm effectiveness of applying Faster R-CNN to any sets of images. However, it is necessary to note the resource-intensiveness of this architecture and its unsuitability for solving problems, in which an important criterion of efficiency is the time for performing the analysis. The SSD and YOLO models do not offer advantages in the detection of small and medium-sized objects, but can be successfully used as part of mobile detection systems that are limited in their hardware capabilities. In addition, these neural network architectures perform processing faster than Faster R-CNN and can be considered as basic models for detecting and segmentation of objects in images and video in real time.

УДК 621.311.6

**Grzeszczyk K., Кочан В. В., Саченко О. А., Русин Б. П., Лендюк Т. В.**

### КОНТРОЛЬ ТРАНСПОРТНЫХ ДЕФЕКТОВ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

**Введение.** Как известно, фирмы, выпускающие энергогенерирующие панели солнечных батарей, при выпуске из производства проводят 100%-й контроль их качества. Поэтому вероятность выпуска недоброкачественных панелей мала. Но потребителю иногда поступают неисправные панели или панели, энергетическая эффективность которых снижена. Монтаж таких панелей причиняет значительные потери из-за необходимости их последующего демонтажа и монтажа исправной панели. Неисправности энергогенерирующих панелей солнечных батарей, появляющихся у потребителя, в значительной мере вызвана дефектами, возникающими во время транспортирования. А при установке такие панели обычно не проходят объективный контроль качества (они проходят лишь визуальный контроль, который является поверхностным и субъективным). Частично это вызвано отсутствием эффективных методов оперативного контроля дефектов, возникающих при перегрузках энергогенерирующих панелей солнечных батарей, а также отсутствием соответствующего оборудования. Поэтому целесообразно разработать метод и оборудование, предназначенное для проведения потребителем объективного контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей непосредственно перед их монтажом. К такому методу предъявляются специфические требования. Он должен быть простым, не требовать использования дорогого или специализированного оборудования и много времени на проведение контроля (обеспечивать малую трудоемкость и высокую производительность). Метод должен обеспечить идентификацию дефектов, снижающих энергетическую эффективность энергогенерирующих панелей солнечных батарей до недопустимого уровня.

**Обзор известных работ и постановка задачи.** Для контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей разработано достаточно много методов и методик [1–3], используемых при их выпуске, монтаже и даже непосредственно в условиях эксплуатации. В частности, важной является проблема устранения неисправности электрических соединений, которая может существенно повы-

сить общие эксплуатационные свойства всей системы.

Применение при производстве энергогенерирующих панелей солнечных батарей некачественных фотомодулей приводит к эффекту локального перегрева участков. Это дает возможность использовать для идентификации дефектов тепловизор [4–6]. Использование тепловизора для диагностики энергогенерирующих панелей солнечных батарей является наиболее распространенным. При помощи тепловизора наличные или скрытые дефекты энергогенерирующих панелей солнечных батарей могут быть выявлены на всех стадиях их жизненного цикла. В результате диагностики этим методом можно выявить следующие дефекты солнечных батарей:

- «полосковые» дефекты обратных диодов (неисправные «горячие» «полоски» или отдельные фотозвенья энергогенерирующих панелей солнечных батарей);
- красные пятна и затемнения, указывающие на высокую мощность рассеяния фотозвеньев, а также указывающие на поврежденные соединения;
- физические дефекты и механические повреждения элементов солнечной установки, которые можно локализовать по наличию «горячей точки».

Несмотря на разнообразие методов контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей, определение энергетической эффективности дефектных энергогенерирующих панелей солнечных батарей после их транспортирования (непосредственно перед монтажом) остается актуальной задачей и требует дополнительных исследований.

Таким образом, цель настоящей работы может быть определена как создание простого в применении, не требующего использования дорогого или специализированного оборудования оперативного метода выявления дефектов энергогенерирующих панелей солнечных батарей, возникающих при их транспортировании.

**Предлагаемая методика.** Предлагаемая методика контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей непосред-

*Grzeszczyk Konrad, International Vision Machinery, VISORT Sp., J. Radom, Poland.*

*Кочан Владимир Владимирович, к. т. н., профессор кафедры информационно-вычислительных систем и управления Тернопольского национального экономического университета.*

*Саченко Олег Анатольевич, преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и управления Тернопольского национального экономического университета.*

*Лендюк Тарас Васильевич, старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и управления Тернопольского национального экономического университета*

*Украина, ТНЕУ, 46020, г. Тернополь, площадь Победы, 3.*

*Русин Богдан Павлович, д. т. н., профессор Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины*

*Украина, г. Львов, ул. Науковая, 5.*

ственно перед их монтажом, для снижения трудоемкости, выполняется в два этапа:

- 1) идентификация дефектных энергогенерирующих панелей солнечных батарей;
- 2) контроль влияния транспортных дефектов на энергетическую эффективность дефектных энергогенерирующих панелей солнечных батарей.

При выполнении этой методики контроль влияния транспортных дефектов на энергетическую эффективность энергогенерирующих панелей солнечных батарей проводят не для всех панелей, а только для дефектных. Кроме того, предлагается проводить контроль энергетической эффективности не для всей площади панели, а лишь для дефектных участков, которые должны быть локализованы при выполнении первого этапа методики. Таким путем удалось достичь малой трудоемкости контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей.

Чтобы не использовать дорогое или специализированное оборудование, предлагается использовать как базу для реализации предлагаемой методики методы компьютерной обработки изображений. Структурная схема аппаратного обеспечения для реализации предлагаемой методики представлена на рис. 1. В состав аппаратного обеспечения входят: веб-камера (средство получения изображения энергогенерирующей панели солнечной батареи), ноутбук (средство обработки изображения энергогенерирующей панели солнечной батареи и визуализации результатов обработки), линейка светодиодов (средство формирования тестового воздействия при контроле энергетической эффективности энергогенерирующей панели солнечной батареи) и измерительный канал (средство определения реакции на тестовое воздействие при контроле энергетической эффективности энергогенерирующей панели солнечной батареи).

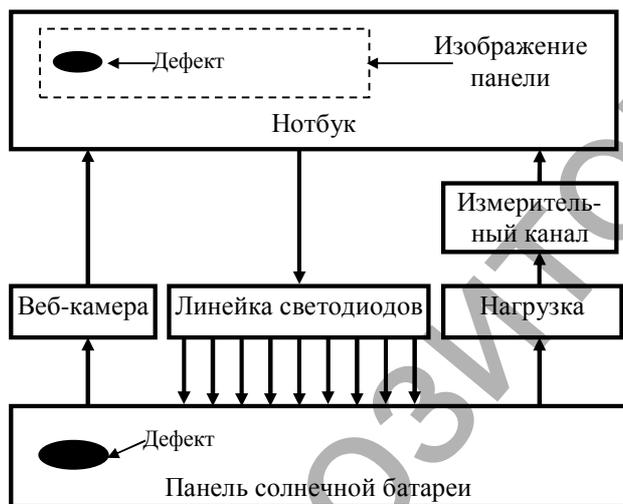


Рисунок 1 – Структурная схема аппаратного обеспечения для реализации предлагаемой методики

Для обеспечения объективности контроля качества энергогенерирующей панели солнечной батареи она должна работать в режиме, близком к штатному. Для этого в схему аппаратного обеспечения введена нагрузка солнечной батареи. Таким образом, измерительный канал должен измерять лишь падение напряжения на нагрузке. Ток нагрузки и мощность, генерируемая панелью солнечной батареи, рассчитывается исходя из этого падения напряжения и известного сопротивления нагрузки.

Таким образом, выполнение первого этапа предлагаемой методики сводится до обработки полученного от Веб-камеры изображения контролируемой энергогенерирующей панели солнечной батареи и выявления возможных дефектов, полученных при транспортировании. А выполнение второго этапа предлагаемой методики сводится к обработке полученной из измерительного канала последовательности значений генерируемой панелью солнечной батареи мощности под действием световой полоски, создаваемой во время сканирования

дефектной области линейкой светодиодов. Для упрощения аппаратного обеспечения, необходимого при реализации предложенной методики, сканирование дефектной области производится вручную. В качестве линейки светодиодов можно использовать ручной сканер или ряд включенных последовательно светодиодов, расположенных в отражающем рефлекторе (желобе), как это показано на рис. 2.

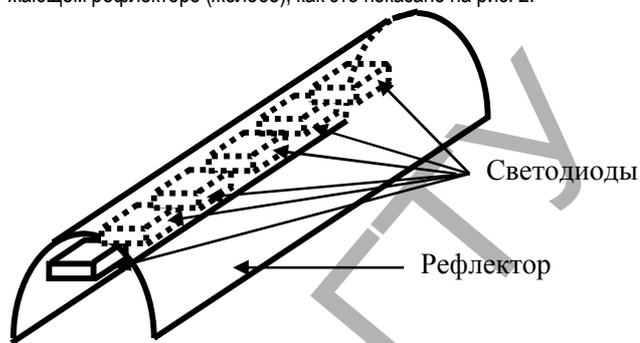


Рисунок 2 – Схематичное изображение линейки светодиодов

Выполнение каждого этапа предлагаемой методики требует определенной обработки данных. Для выполняющего эту обработку программного обеспечения необходима предварительная настройка. Поэтому необходимо рассмотреть используемые на всех этапах методы обработки данных и соответствующее программное обеспечение.

**Подготовка к идентификации дефектных энергогенерирующих панелей солнечных батарей.** При выполнении первого этапа – идентификации дефектных энергогенерирующих панелей солнечных батарей – проводится распознавание основных дефектов, возникающих при транспортировании этих панелей – трещин, сколов, вмятин и царапин. Распознавание осуществляется методом обработки цветного изображения [7, 8] контролируемой энергогенерирующей панели солнечной батареи. В качестве основного инструмента распознавания целесообразно использовать нейронные сети глубокого обучения, обеспечивающие лучшие результаты распознавания [9]. Их оптимальная структура может изменяться в зависимости от поставленной задачи. Это означает, что каждый вид дефекта целесообразно распознавать отдельной нейронной сетью, обученной распознаванию именно этого вида дефекта. В нашем случае была использована нейронная сеть [10], количество входов которой соответствует разрешающей способности Веб-камеры на участках, на которые виртуально разбита энергогенерирующая панель солнечной батареи. Количество скрытых слоев нейронной сети равно 6, каждый слой содержит 256 нейронов.

Нейронная сеть обучается на обучающей выборке, в качестве которой было использовано 240 пар изображений нормальной и дефектной энергогенерирующей панели солнечной батареи. Непосредственно для обучения было использовано 200 пар изображений, а остальные 40 пар – для проверки качества обучения нейронной сети. Для улучшения сходимости при обучении использована дополнительная регуляризация и ранняя остановка процесса обучения. Минимизация функционала достоверности распознавания дефектов наступает на 60 – 80 эпохе обучения. Поэтому ранняя остановка процесса обучения препятствует переобучению нейронной сети, когда нейронная сеть начинает запоминать данные обучающей выборки, а не обобщать их.

Структура нейронной сети глубокого обучения дает наилучшие результаты распознавания дефектов панелей солнечных батарей по сравнению со всеми остальными методами. Дополнительным преимуществом такой нейронной сети является возможность работы в полностью автоматическом режиме без участия оператора. К недостаткам нейронной сети глубокого обучения следует отнести длительный процесс обучения и необходимость использования обучающей выборки большого объема.

**Предварительная обработка изображений.** Для улучшения условий распознавания дефектов панелей солнечных батарей перед самим распознаванием целесообразно провести предварительную обработку полученных из Веб-камеры изображений. Целью такой

предварительной обработки является выравнивание освещенности изображения панели и повышение контрастности.

Для решения первой задачи в [11] предложен метод повышения качества изображения путем использования локальных контрастов. Имея числовую оценку контраста для некоторого участка изображения дефекта осуществляют его нелинейное усиление. Для изображений рассматриваемого класса этот метод дает хорошие результаты, что позволяет на этапе распознавания значительно улучшить достоверность выявления и классификации дефектов [12–14].

Для решения второй задачи целесообразно использовать метод сегментации изображения [14, 15]. Важным недостатком сегментации является то, что не существует эталонного образца, с помощью которого можно было бы определить качество того или иного метода сегментации. Исходя из этого, единственно возможной оценкой метода сегментации является опыт эксперта. Все традиционные подходы при применении методов сегментации предусматривают участие оператора-эксперта, который, при необходимости, настраивает параметры системы с целью достижения более высокого качества работы системы. Единственными полностью автоматизированными методами сегментации являются методы, использующие принципы машинного обучения. В частности, для сегментации целесообразно использовать нейронные сети глубокого обучения, обеспечивающие свертку сегмента. Эти решения обеспечивают лучшие результаты.

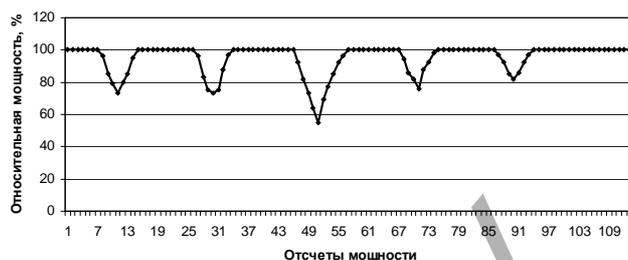
**Распознавание транспортных дефектов.** Распознавание основных дефектов, возникающих при транспортировании энергогенерирующих панелей солнечных батарей (трещин, сколов, вмятин и царапин), производится обученной при выполнении п. 3 нейронной сетью глубокого обучения. При этом панели, у которых транспортные дефекты не выявлены, идут прямо на монтаж. А панели, у которых выявлены транспортные дефекты, идут на контроль влияния этих дефектов на их энергетическую эффективность. При этом места расположения дефектов локализируются, а их изображения запоминаются в базе данных. Таким образом, процесс распознавания дефектов панелей солнечных батарей почти не задерживает их выдачу из склада для последующего монтажа.

Процесс контроля влияния транспортных дефектов на энергетическую эффективность энергогенерирующих панелей солнечных батарей ускоряется за счет того, что изображения дефектов сохраняются в базе данных и воспроизводятся во время контроля энергетической эффективности. В этом случае сканирование дефектов для определения их влияния на энергетическую эффективность энергогенерирующих панелей солнечных батарей производится с учетом локализации этих дефектов. Для этого изображение контролируемой панели с выделенными зонами ее дефектов выводится на экран ноутбука.

**Контроль влияния выявленных дефектов на энергетическую эффективность панелей.** Как уже было сказано, выполнение второго этапа предложенной методики контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей непосредственно перед их монтажом сводится к обработке полученных из измерительного канала последовательности значений генерируемой контролируемой панелью солнечной батареи мощности, возникающей при сканировании зоны дефекта полоской света, формируемой линейкой светодиодов. Форма этой последовательности показана на рис. 3. На рисунке 3 видно, что промежутки стабильных результатов измерения мощности чередуются с провалами, вызванными дефектом. Возможны различные критерии оценки пригодности панелей солнечных батарей. Наиболее очевидны два критерия – по максимальной потере генерируемой мощности в пределах данного дефекта и по средней (интегральной) потере генерируемой мощности в пределах данного дефекта. В соответствии с первым критерием дефект панели очень серьезный – потеря мощности почти до 50%.

Однако средняя потеря мощности в пределах всего дефекта не столь катастрофична – она достигает примерно 5%.

Выбор критерия пригодности энергогенерирующих панелей солнечных батарей и его допустимого значения (порога признания панели непригодной) определяют исходя из критически допустимых потерь мощности и экономических соображений.



**Рисунок 3** – Форма последовательности значений мощности в нагрузке панели солнечной батареи, полученная из измерительного канала

**Заключение.** Предложенная методика выявления дефектов энергогенерирующих панелей солнечных батарей, возникающих при их транспортировке от изготовителя к конечному потребителю, достаточно проста, не требует дорогостоящего и специализированного оборудования и может быть реализована непосредственно возле места их монтажа. При этом производится не только разбраковка энергогенерирующих панелей солнечных батарей, но и оценка их состояния, т. е. оценка влияния выявленных дефектов на энергетическую эффективность панелей. Последнее обстоятельство позволяет не отбраковывать панели, дефекты которых мало влияют на их генерирующие способности.

Для контроля качества энергогенерирующих панелей солнечных батарей разного типа целесообразно использовать в качестве измерительного канала измерительный модуль [16], оснащенный средствами коррекции погрешности его нелинейности [17]. В этом случае высокая точность контроля энергетической эффективности энергогенерирующих панелей солнечных батарей обеспечивается в любых условиях применения (при этом используются относительные измерения), т. е. аппаратное оборудование практически совсем не влияет на достоверность оценки энергетической эффективности контролируемых панелей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kurtz, S. Qualification Testing Versus Quantitative Reliability Testing of PV / S. Kurtz, K. Whitfield, N. Phillips, T. Sample, C. Monokroussos, E. Hsi, I. Repins, P. Hacke, D. Jordan, J. Wohlgemuth, P. Seidel, U. Jahn, M. Kempe, T. Tanahashi, Y. Chen, B. Jaecel, M. Yamamichi // Gaining Confidence in a Rapidly Changing Technology. – United States : Preprint, 2017. – 12 p.
2. Davis, K. O. Manufacturing metrology for c-Si module reliability and durability / K. O. Davis, M. P. Rodgers, G. Scardera, R. P. Brooker, H. Seigneur, N. Mohajeri, N. G. Dhare, J. Wohlgemuth, E. Schneller, N. Shiradkar, A. C. Rudack, W. V. Schoenfeld // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 59 – 2016. – Part II: Cell manufacturing NREL/JA-5J00-658. – P. 225–252.
3. Lynn, K. Test Method for Photovoltaic Module Rating, Florida Solar Energy Center FSEC GP 68-01, May 21. – 2001. – 15 p.
4. Harley, Denio III Aerial solar thermography and condition monitoring of photovoltaic systems // InfraMation 2011 Proceedings. – 2011.
5. S. Guha, Y. C. Martin, R. L. Sandstrom, T. G. van Kessel, Techniques for analyzing performance of solar panels and solar cells using infrared diagnostics / S. Guha, Y. C. Martin, R. L. Sandstrom, T. G. van Kessel. – Patent No.: US8373758B2, Date of Patent: Feb. 12, 2013.
6. Gao, X. Automatic solar panel recognition and defect detection using infrared imaging / X. Gao, E. Munson, G.P. Abousleman, J. Si // Proceedings. – Vol. 9476, Automatic Target Recognition XXV; 947600 (2015) <https://doi.org/10.1117/12.2179792>. Event: SPIE Defense + Security, 2015, Baltimore, Maryland, United States.
7. Mennesson, J. Color Fourier-Mellin descriptors for image recognition / J. Mennesson, C. Saint-Jean, L. Mascarilla // Pattern Recognition Letters. – Vol. 40. – 2014. – P. 27–35.
8. Hoang, T. V. The generalization of the R-transform for invariant pattern representation / T. V. Hoang, S. Tabbone // Pattern Recognition. – Vol. 45. – 2012. – P. 2145–2163.

9. Hoang, T. V. Invariant pattern recognition using the RFM descriptor / T. V. Hoang, S. Tabbone // Pattern Recognition. – Vol. 45. – Issue 2. – 2012. – P. 271–284.
10. Kapustiy, B.O. A new approach to determination of correct recognition probability of set objects / B. O. Kapustiy, B. P. Rusyn, V. A. Tayanov // Upravlyayushchie Sistemy i Mashiny. – Vol. 2. – 2005. – P. 8–12.
11. Veres, O. Choosing the method of finding similar images in the reverse search system / O. Veres, B. Rusyn, A. Sachenko, I. Rishnyak // Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, COLINS 2018. – Volume I: Main Conference, Lviv, Ukraine, June 25–27, 2018. CEUR Workshop Proceedings, 2136. – P. 99–107.
12. Furgala, Yu. M. Peculiarities of Melin transform application to symbol recognition / Yu. M. Furgala, B. P. Rusyn // Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, February 20–24, 2018. – P. 251–254.
13. Chen, L. Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected CRFs / L. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, L. Yuille // Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR), 2015.
14. Dai, J. Instance-aware semantic segmentation via multi-task network cascades / J. Dai, K. He, J. Sun // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016. – P. 3150–3158.
15. Dash, I. Adaptive contrast enhancement and de-enhancement / I. Dash, B.N. // Chatterji, Pattern Recognition. – Vol. 24. – Issue 4. – 1992. – P. 289–302.
16. Kochan, R. Precision data acquisition (DAQ) module with remote reprogramming / R. Kochan, O. Kochan, M. Chyrka, N. Vasylykiv // Proceedings of the Third IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2005, 2005. – P. 1–5.
17. Kochan, R. Approaches of voltage divider development for metrology verification of ADC / R. Kochan, O. Kochan, M. Chyrka, J. Su, P. Bykovyy // Proceedings of the IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS'2013, 2013. – P. 112–118.

Материал поступил в редакцию 21.02.2019

**GRZESZCZYK KONRAD, KOCHAN V. V., SACHENKO A. A., RUSYN B. P., LENDYUK T. V. Testing of Transport Defects of Power Generating Solar Panels**

A technique has been proposed for identifying defects in power generating solar panels arising from their transportation from the manufacturer to the end user. High precision control of power efficiency of power generating solar panels is provided in any application conditions. The implemented ability to control the quality of power generating solar panels of various types in any application conditions.

УДК 338.2: 681.3

**Головко В. А., Матюшков А. Л., Матюшкова Г. Л., Рубанов В. С., Махнист Л. П.**

**СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ АДАПТАЦИЯ**

**Введение.** Сетевое управление – область информационного менеджмента, его используют в ряде высокоразвитых стран в системах электронного государственного управления (ГУ) [1–3]. Оно связывается с ускорением принятия качественных решений и делегирования прав на нижестоящие уровни. Это объясняется лучшим знанием обстановки на делегированном объёме функций на местах, а также необходимостью использовать сложившиеся отношения с организациями региона. В основном принятие решения сводится к идентификации ситуации и выбору альтернатив автоматически устройством (программой) или на предпочтениях ЛПР (лицо, принимающее решение). Проблема разработки средств автоматизации и различных программных продуктов с полной автоматизацией процесса привели к необходимости решения задачи по созданию инструментов для облегчения использования информационных технологий (ИТ) в полностью автоматизируемом процессе [4]. Оно обычно применяется, когда действующие компоненты размещены по большой территории и их нужно объединить в одну систему для постоянного обмена информацией в реальном времени. Они могут получать актуальные данные, чтобы иметь реальную картину. Для реализации такой концепции нужны хорошо защищённые каналы связи и средства отображения данных. Использование мультиагентных систем в адаптации [5, 6, 7] даёт возможность гибко приспосабливать поведение сетевых систем к текущей обстановке из-за возможности её отдельным агентам самостоятельно действовать при наличии частичной информации о полезности их действий для всей системы.

Главные достоинства сетевых организаций:

- возможность выбирать и использовать наилучшие ресурсы, знания и способности с малыми временными и материальными

затратами;

- более полное удовлетворение потребностей заказчика;
- гибкая адаптация к изменениям окружающей среды.

Сетевые технологии подразумевают наличие единого информационного пространства, а также ориентированность на сеть, позволяющую реализовать режим ситуационной осведомлённости всех рангов управления целостной контекстной информацией, исключая её устаревшие варианты. Такое информационное превосходство должно иметь и интеллектуальную поддержку выработки решений с адаптацией как структуры системы, так и её программного обеспечения. Адаптация физической структуры и программных компонентов опирается на теорию радарных диаграмм, мультиагентных и нейронных сетей.

Главными компонентами адаптации являются: 1 – уровень (структура, алгоритмы, параметры), 2 – механизм адаптации, 3 – способ адаптации (дискретная или непрерывная), 4 – контроль защищённости (диктуется сетевым окружением: уровень прикладного программного обеспечения для взаимодействия с пользователями, операционная система по обслуживанию СУБД, доступ к базам данных, борьба с перехватом и чтением информации).

Наиболее сложной является структурная адаптация, т. к. она в значительной мере зависит от требований пользователя системы и возможностей изменения соединений между программными и техническими средствами системы. Предложим некоторые инструменты для процесса адаптации.

Для этой цели удобно использовать радарные диаграммы и нейронные сети. Остановимся подробнее на радарных диаграммах, методика использования которых изложена в [4], и элементах

**Матюшков Александр Леонидович**, к. т. н., доцент кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Беларусь, БГУиР, 220013, г. Минск, ул. Бровки, 6.

**Матюшкова Галина Леонидовна**, научный сотрудник лаборатории вычислительных сетей Объединенного института проблем информатики Национальной академии наук Беларуси.

Беларусь, 220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6.

**Рубанов Владимир Степанович**, к. т. н., доцент кафедры высшей математики Брестского государственного технического университета.

**Махнист Леонид Петрович**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой высшей математики Брестского государственного технического университета

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика