
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 536.3, 65.011.56

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВИЗИОННОГО
КОНТРОЛЯ**

© 2021 Д.В. Швец*, Е.А. Абидова**, М.В. Калашников**,
П.В. Поваров**, Е.В. Воробьев**

**Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск,
Ростовская обл., Россия*

***Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

Областью выполнения исследовательской работы является комплекс проблем, связанных с процессами сбора и хранения результатов термографического контроля (ТВК), применяемого на атомных станциях (АС) для оценки технического состояния оборудования, непосредственно влияющего на безопасность. В качестве решения для устранения существующих проблем в НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ разрабатывается комплексная автоматизированная система хранения и анализа результатов термографического контроля оборудования АЭС (КАС ТВК).

Ключевые слова: атомная станция, тепловизионный контроль, оборудование, бесконтактная термография, метод неразрушающего контроля.

Поступила в редакцию 07.12.2021

После доработки 17.12.2021

Принята к печати 22.12.2021

В современной промышленности при управлении технологическими мощностями применяется долгосрочное планирование ремонтных мероприятий, что требует усложнения учета и контроля параметров эксплуатации оборудования. Эффективная эксплуатация оборудования связана с повышением коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), которого можно добиться за счет снижения длительности процедур ремонта и обслуживания оборудования при условии поддержания его эксплуатационной надежности.

На Атомных станциях для мониторинга эксплуатационной надежности оборудования применяется тепловизионный контроль [1], как один из методов неразрушающего контроля. При этом тепловизионный контроль разнородного оборудования АС приводит к накоплению значительного количества термограмм, систематизация, сортировка и сравнительный анализ [2–3] которых затруднен, а это, в свою очередь, приводит к снижению оперативности процедур и объективности результатов ТВК.

Так, тепловизионному контролю подвергаются такие разнородные виды оборудования, влияющего на безопасность АЭС, как: импульсные предохранительные клапаны парогенератора и компенсатора давления; шлейфы приводов системы управления защитой реактора; резервные дизель-генераторы [4], трубопроводная арматура.

Несвоевременность выявления дефектов и неисправностей такого оборудования не только может приводить к снижению КИУМ, но и оказывает негативное влияние на безопасность эксплуатации АЭС в целом.

Метод бесконтактной инфракрасной термографии, или тепловизионный контроль, основан на измерении с помощью специальных приборов (тепловизоров)

распределения теплового излучения на поверхности контролируемого объекта и преобразовании результатов в карту теплового поля для дальнейшего анализа. Тепловое поле обуславливается трением в сочленениях оборудования (кинематических парах) или другим способом рассеивания тепловой энергии, характеризующим специфику работы того или иного оборудования [5].

Для АЭС метод ТВК представляет собой наилучший способ поиска локальных зон зарождения дефектов [6–7]. Для контроля ресурсных характеристик оборудования и обоснования продления времени эксплуатации и остаточного ресурса оборудования АС тепловизионный контроль имеет ряд преимуществ перед другими методами технического контроля и диагностики:

- бесконтактность проведения обследования оборудования;
- возможность контроля движущихся частей;
- возможность контроля оборудования, изготовленного из любых материалов;
- возможность охвата больших площадей;
- скорость регистрации информации.

Как мы отметили, тепловизионный контроль на атомной станции выполняется для разных видов оборудования, поэтому для проведения своевременного мониторинга и объективной оценки технического состояния оборудования необходима систематизация всего объема регистрируемой информации [8]. Таким образом, на АЭС имеется потребность в создании комплексной автоматизированной системы хранения и обработки результатов тепловизионного контроля оборудования.

При проектировании КАС ТВК коллективом НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ учтены стратегические цели ГК «Росатом» [9]:

- снижение себестоимости выработки электроэнергии;
- снижение сроков протекания процессов;
- создание новых продуктов для продвижения на отечественном и зарубежном рынке;
- встраивание в цифровую экономику РФ.

Разработка КАС ТВК направлена на повышение качества диагностики оборудования и снижение вероятности внезапного отказа оборудования за счёт совершенствования процессов тепловизионного контроля, что соответствует стратегической цели снижения себестоимости выработки электроэнергии.

Оптимизация процессов термографического обследования оборудования АЭС путём максимального исключения ручной обработки и методически обоснованной алгоритмизации анализа полученных термографических данных соответствует стратегической цели снижения сроков протекания процессов.

Разработка КАС ТВК и её апробирование на АЭС соответствует стратегической цели создания новых продуктов для продвижения на отечественном и зарубежном рынке.

Автоматизированный сбор и анализ термографической информации позволит рассматривать КАС ТВК как полноценный цифровой продукт, трансформирующий процессы диагностики оборудования, что соответствует стратегической цели встраивания в цифровую экономику РФ.

Основным недостатком имеющихся на рынке систем тепловизионного контроля является отсутствие возможности систематизации объектов контроля и анализа термограмм в зависимости от типа оборудования. Для устранения данного недостатка разрабатываемая КАС ТВК будет решать следующие задачи:

- сбор данных с тепловизионного оборудования различных типов;
- автоматизированный анализ результатов тепловизионного контроля с учетом типа объекта ТВК;
- формирование представления о состоянии объекта ТВК.

Структурно система КАС ТВК представлена на рисунке 1.

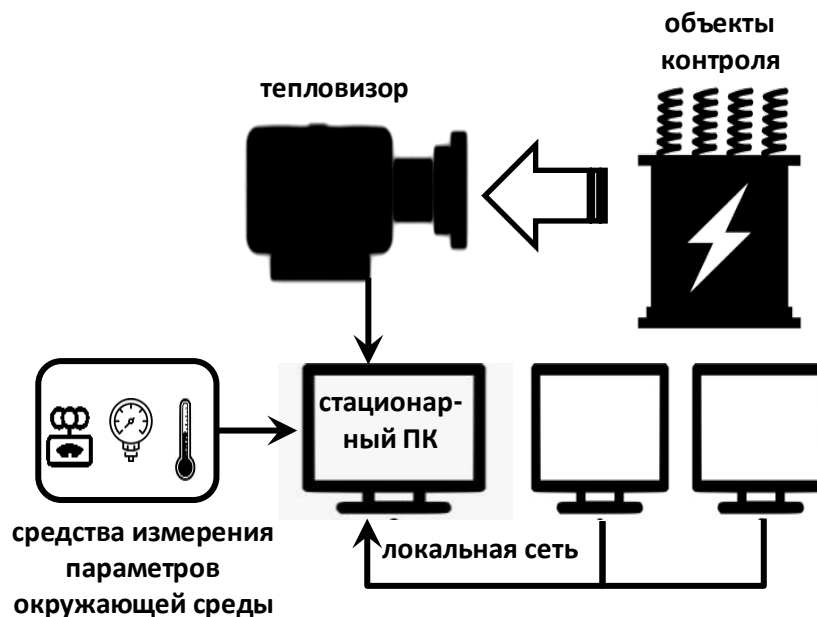


Рисунок 1 – Принципиальная структурная схема КАС ТВК [The basic block diagram of IAS TIC]

Первая задача на текущем этапе решается организационными мероприятиями, учитывающими особенности и возможности применяемого тепловизионного оборудования разных лет выпуска и разных производителей. Эти особенности должны быть максимально учтены при разработке структуры базы данных хранения тепловизионных образов в КАС ТВК.

Автоматизация процессов анализа результатов тепловизионного контроля с учетом типа объекта ТВК имеет множество нюансов, которые будут учтены в ходе проектирования. Укрупнённо схема обработки результатов диагностирования представлена на рисунке 2.

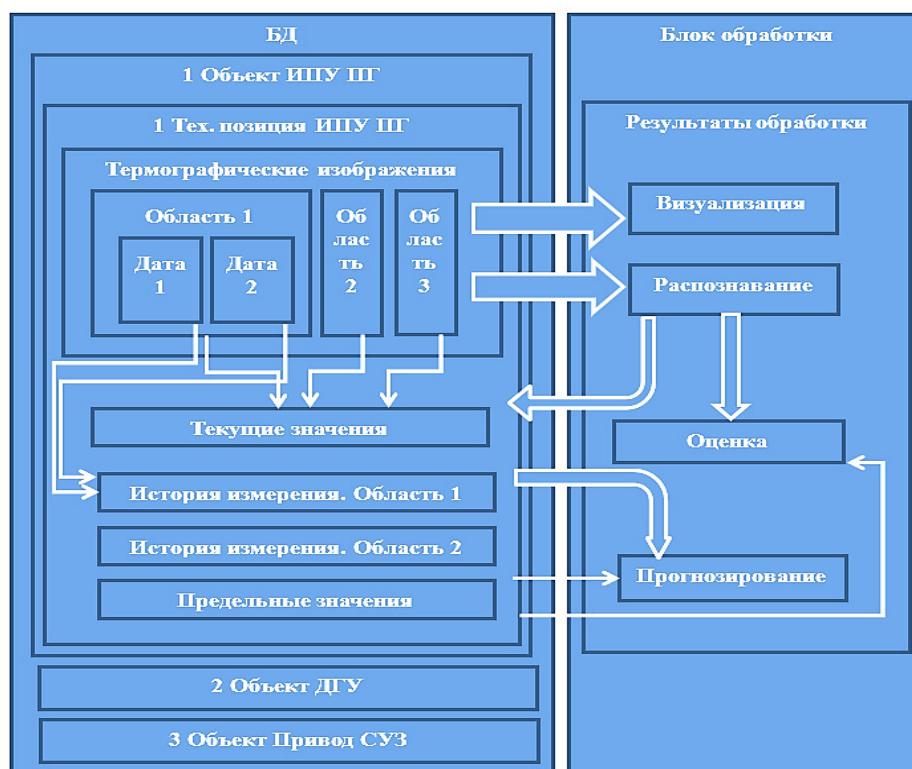


Рисунок 2 – Схема обработки результатов диагностирования КАС ТВК [Diagnostic results processing scheme IAS TIC]

Учитывая большое разнообразие особенностей работы разнородного оборудования, обследуемого на АЭС тепловизионным способом, для повышения чувствительности анализа термограмм предлагается использовать подход, основанный на методе главных компонент (МГК), который заключается в совместном анализе параметров различной природы [10–11]. В разрабатываемой системе реализуется следующая последовательность проведения анализа:

1. Определение абсолютных максимальных температур частей объектов.
2. Определение разности температур между различными частями объекта.
3. Определение разности температур объекта и окружающего воздуха.
4. Определение размера области нагрева объекта контроля.
5. Сравнение с результатом предыдущего ТВК.
6. Автоматическое формирование и вывод протокола по результатам контроля.
7. Формирование и хранение в базе данных результатов ТВК.

Для формирования заключения о техническом состоянии обследуемой единицы оборудования разрабатываемая КАС ТВК должна будет на основе базы диагностических признаков, сформированной для разных видов оборудования, автоматически выявлять на термограмме место возможного дефекта [12–14].

В качестве примера рассмотрим диагностическую модель СУЗ ШЭМ-3. Входными данными модели являются температуры обмоток и контактов управляющих электромагнитов ТМ, ФМ, ЗМ и обмоток ДПШ, контактов и разъемов электровводов, при мониторинге результатов обработки термограмм диагностируются либо «дефект двигателя (короткое замыкание витков в обмотках электромагнита)», либо «дефект изоляции обмоток датчика положения». На рисунке 3 представлен термографический контроль шлейфов ОР СУЗ.

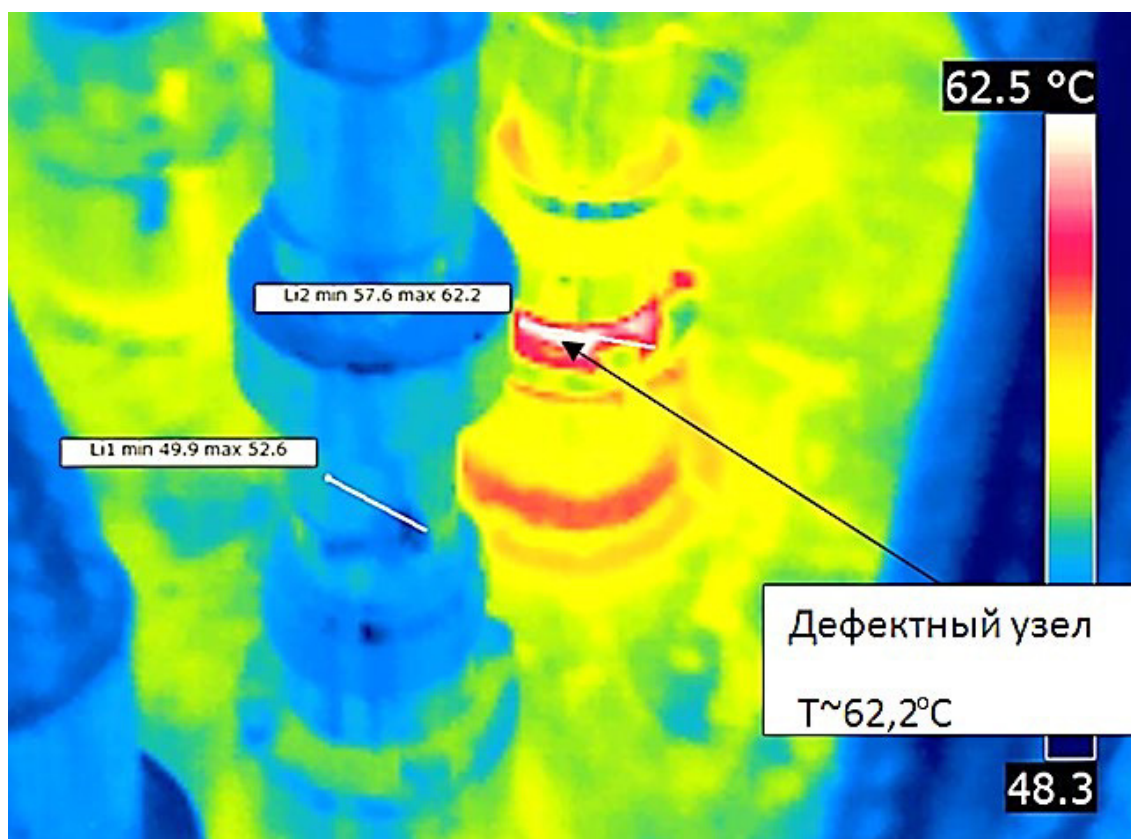


Рисунок 3 – термограмма шлейфов ОР СУЗ [Thermogram of the plumes RB PMS]

Для проведения регистрации термограмм необходимо вывести привод ОР СУЗ в рабочее положение. Регистрация производится наведением камеры тепловизора на

исследуемую область объекта, автоматический фокусировкой, получением термографического снимка и записью его в память прибора для дальнейшей регистрации в базу данных термограмм.

Таким образом, повышение качества методов неразрушающего контроля ТВК оборудования, непосредственно влияющего на безопасность Атомной станции, направлено на повышения качества решаемых задач оперативного управления, путем цифровизации процедур сбора и хранения термограмм, автоматической выдачи итогового отчета о состоянии объекта. Следовательно, целью создания КАС ТВК является повышение безопасности атомной станции путем создания комплексной системы для контроля и диагностики оборудования методом тепловизионного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 153-34.0-20.364-00. Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования. Утвержден и введен в действие 01.05.2000. Разработан АО «Фирма ОРГРЭС». – Москва, 2000. – 50 с.
2. Гевлич, С.О. Оценка технического состояния оборудования методом тепловизионного контроля / С.О. Гевлич, Д.С. Гевлич, Т.Г. Бабяк, К.А. Васильев, С.С. Коновалов, Н.В. Макарова, М.В. Мирзонов // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 9(45). – С. 86-89.
3. Власов, А.Б. Анализ результатов статистической обработки данных тепловизионного контроля / А.Б. Власов // Вестник МГТУ. – 2002. – № 2(5). – С. 155-160.
4. Абидова, Е.А. Виброакустический мониторинг и тепловизионный контроль при диагностировании дизеля 12ZV40/48 / Е.А. Абидова, В.И. Соловьев, О.Ю. Пугачева, Р.И. Ремизов // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 2(19). – С. 70-76.
5. Енюшин, В.Н. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании / В.Н. Енюшин, Д.В. Крайнов // Известия КГАСУ. – 2013. – №1(23). – С. 99-103.
6. Ещенко, Д.В. Практическое применение методов тепловизионного анализа и контроля / Д.В. Ещенко, А.Т. Никитин, О.А. Белов // Вестник КамчатГТУ. – 2020. – №54. – С. 6-19.
7. Yuanbin W., Yang Y., Jieying R. Research on thermal state diagnosis of substation equipment based on infrared image // Advances in Mechanical engineering, 2019 №4(11). P. 1-14.
8. Цаплин, А.Е. Совершенствование контроля узлов механической части электрического подвижного состава применением интеллектуальной системы тепловизионного контроля / А.Е. Цаплин, В.А. Васильев, С.А. Фомин // Известия Петербургского университета путей сообщений. – 2019. – № 2(16). – С. 268-274.
9. РД ЭО 1.1.2.01.0573-2019. Проведение проверок выполнения программ обеспечения качества АО «Концерн Росэнергоатом» и организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги эксплуатирующей организации. Положение. Утвержден приказом №9/570-П от 25.04.2019. Разработан Департаментом качества АО «Концерн Росэнергоатом». – Текст: непосредственный. – Москва, 2019. – 81с.
10. Banerjee D., Chattopadhyay SK., Chatterjee K., Tuli S., Jain N., Goyal I., Mukhopadhyay S. Non-destructive testing of jute-polypropylene composite using frequency-modulated thermal wave imaging // Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2015 №4(28) P. 548-557.
11. Teju V., Bhavana D. An efficient object detection using OFSA for thermal imaging // International Journal of Electrical Engineering & Education, 2020 №1(22). P. 1-22.
12. Губарев, П.В. Анализ результатов испытаний тепловизионного контроля электровазов переменного тока / П.В. Губарев, А.С. Шапшал, А.С. Курочкин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 7. – С. 142-147.
13. Мамонтов, А.Н. Тепловизионный контроль реакторов / А.Н. Мамонтов, К.А. Пушница // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019, № 8 – С. 145-151.
14. Mark L., Kristin D., Kathryn R. Experimental Studies of the Thermal Effects Associated with Radiation Force Imaging of Soft Tissue // Ultrasonic imaging, 2004, № 26 – P. 100-114.

REFERENCES

- [1] RD 153-34.0-20.364-00. Metodika infrakrasnoj diagnostiki teplomekhanicheskogo oborudovaniya. [Technique of Infrared Diagnostics of Thermal Mechanical Equipment]. Utverzhden i vveden v dejstvie 01.05.2000. Razrabotan AO «Firma ORGRES». [Approved and put into effect 01.05.2000. Developed by ORGRES company]. Moscow, 2000. P.50 (in Russian).
- [2] Gevlich S.O., Gevlich D.S., Babyak T.G., Vasil'ev K.A., Kononov S.S., Makarova N.V., Mirzonov M.V. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya metodom teplovizionnogo kontrolya [Assessment of Technical Condition of Equipment by Thermal Imaging Control]. Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike [Technical sciences - from Theory to Practice], 2015 №9(45). P. 86-89 (in Russian).
- [3] Vlasov A.B. Analiz rezul'tatov statisticheskoy obrabotki dannyh teplovizionnogo kontrolya [Analysis of Results of Statistical Processing of Thermal Imaging Control Data]. Vestnik MGTU [Bulletin of the MSTU]. 2002г. №2(5). P. 155-160 (in Russian).
- [4] Abidova E.A., Solov'ev V.I., Pugacheva O.YU., Remizov R.I. Vibroakusticheskij monitoring i teplovizionnyj kontrol' pri diagnostirovanii dizelya 12ZV40/48 [Vibroacoustic Monitoring and Thermal Imaging Control in the Diagnosis of Diesel 12ZV40/48]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2016 №2(19). P. 70-76 (in Russian).
- [5] Enyushin V.N., Krajinov D.V. O vliyaniy izluchatel'noj sposobnosti poverhnosti issleduemogo ob'ekta na tochnost' izmereniya temperatur pri teplovizionnom obsledovanii [Influence of the Emissivity of the Surface of Object under Study on the Accuracy of Temperature Measurement during Thermal Imaging Examination] // Izvestiya KGASU [News of the KSUAE]. 2013 №1(23). P. 99-103 (in Russian).
- [6] Eshchenko D.V., Nikitin A.T., Belov O.A. Prakticheskoe primeneniye metodov teplovizionnogo analiza i kontrolya [Practical Application of Thermal Imaging Analysis and Control Methods]. Vestnik KSTU [Bulletin of KSTU]. 2020 №54. P. 6-19 (in Russian).
- [7] Yuanbin W., Yang Y., Jieying R. Research on Thermal State Diagnosis of Substation Equipment Based on Infrared Image // Advances in Mechanical engineering, 2019 №4(11). P. 1-14 (in English).
- [8] Caplin A.E., Vasil'ev V.A., Fomin S.A. Sovershenstvovanie kontrolya uzlov mekhanicheskoy chasti elektricheskogo podvizhnogo sostava primeneniem intellektual'noj sistemy teplovizionnogo kontrolya [Improving Control of components of Mechanical Part of Electric Rolling Stock by Using an Intelligent Thermal Imaging Control System]. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshchenij [News of the St. Petersburg University of Railway Communications], 2019 №2(16). P. 268-274 (in Russian).
- [9] RD EO 1.1.2.01.0573-2019 Provedeniye proverok vypolneniya programm obespecheniya kachestva AO «Koncern Rosenergoatom» i organizacij, vypolnyayushchih raboty i predostavlyayushchih uslugi ekspluatiruyushchej organizacii. Polozheniye [Conducting Inspections of Implementation of Quality Assurance Programs of Rosenergoatom Concern JSC and Organizations Performing Work and Providing Services to the Operating Organization. Position]. Utverzhden prikazom №9/570-P ot 25.04.2019. Razrabotan Departamentom kachestva AO «Koncern Rosenergoatom». [Approved and put into effect 25.04.2019. Developed by the Quality Department of Rosenergoatom Concern JSC]. Moscow, 2019. P. 81 (in Russian).
- [10] Mukhopadhyay S. Non-Destructive Testing of Jute-Polypropylene Composite Using Frequency-Modulated Thermal Wave Imaging // Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2015 №4(28) P. 548-557 (in English).
- [11] Teju V., Bhavana D. An Efficient Object Detection Using OFSA for Thermal Imaging // International Journal of Electrical Engineering & Education, 2020 №1(22). P. 1-22 (in English).
- [12] Gubarev P.V., SHapshal A.S., Kurochkij A.S., Analiz rezul'tatov ispytaniy teplovizionnogo kontrolya elektrovozov peremennogo toka [Analysis of Test Results of Thermal Imaging Control of AC Electric Locomotives] // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. [News of Tula State University. Technical Sciences], 2020 №7. P. 142-147 (in Russian).
- [13] Mamontov A.N., Pushnica K.A. Teplovizionnyj kontrol' reaktorov [Thermal Imaging Control of Reactors]. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova [Bulletin of V.G. Shukhov BSTU] 2019, №8 P. 145-151 (in Russian).
- [14] Mark L., Kristin D., Kathryn R. Experimental Studies of the Thermal Effects Associated with Radiation Force Imaging of Soft Tissue // Ultrasonic imaging, 2004, № 26. P. 100-114 (in English).

Concept of Creating an Integrated Automated Thermal Imaging Control System**D.V. Shvets^{*1}, E.A. Abidova^{**2}, M.V. Kalashnikov^{**3}, P.V. Povarov^{**4}, E.V. Vorobev^{**5}**

^{}«Rostov nuclear power plant» branch of Rosenergoatom Concern JSC, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

*^{**}Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ORCID iD: 0000-0002-4651-9495

e-mail: svecdima6@gmail.com

²ORCID iD: 0000-0003-0258-5543

WoS Researcher ID: O-1870-2018

e-mail: e-abidova@mail.ru

³e-mail: ya.mkalashnikov@ya.ru

⁴e-mail: povarovp@yandex.ru

⁵e-mail: xpanr@ya.ru

Abstract – The scope of the research work is a complex of problems related to the processes of collecting and storing the results of thermographic control (TCE) used at nuclear power plants (AS) to assess the technical condition of equipment that directly affects safety. As a solution to eliminate existing problems, a comprehensive automated system for storing and analyzing the results of thermographic control of NPP equipment (CAS TVK) is being developed at the Research Institute of AEM VETI of the MEPhI Research Institute.

Keywords: Nuclear power plant, thermal imaging control, equipment, non-contact thermography, non-destructive testing method.