
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039

СИНТЕЗ БЛОК-СХЕМЫ ПЕРЕНОСНОГО ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

© 2019 А.Е. Дембицкий *, Ю.П. Муха **, А.В. Чернов *, Е.А. Абидова *

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

***Волгоградский Государственный Технический Университет, Волгоград, Россия*

Для повышения чувствительности диагностирования дизель-генераторных установок и проведения комплексного анализа диагностических параметров предлагается создать переносной программно-технический комплекс диагностики дизель-генераторных установок атомных электростанций. В работе приводится синтез блок-схемы переносного программно-технического комплекса диагностики дизель-генераторных установок атомных электростанций.

Ключевые слова: резервная дизельная электростанция, комплексный анализ, вибродиагностика, тепловизионный контроль, анализ ультразвуковых параметров, синтез, переносной программно-технический комплекс.

Поступила в редакцию 29.10.2019

После доработки 11.11.2019

Принята к публикации 19.11.2019

В настоящее время существуют различные методы диагностики ДГУ АЭС РФ. В основном эти методы базируются на косвенных способах определения состояния оборудования [1]. Выявление диагностируемых параметров предусматривает использование закономерностей термогазодинамики, теорий ДВС, колебаний, акустики, химического и спектрального анализа и др.

Изучив решаемые задачи методов диагностирования можно сделать вывод, что для комплексного анализа дизель-генераторной установки может быть достаточно проведения 4х основных методов диагностики – это вибродиагностика, контроль ультразвуковых параметров, проведение тепловизионного контроля и снятия индикаторных диаграмм [2].

Состояние оборудования резервного питания систем АЭС характеризуется множеством различных параметров, которые зависят от исправности отдельных элементов и правильной настройки установки. Чтобы качественно и максимально подробно провести диагностику оборудования необходимо использовать комплексный подход. Нужно выбрать минимальное и достаточное количество методов диагностики, которыми можно получить данные характеризующие состояние оборудования.

Резервная дизельная электростанция (РДЭС) является одной из обеспечивающих систем безопасности АЭС и должна постоянно находиться в работоспособном состоянии. РДЭС предназначены для аварийного электроснабжения потребителей систем безопасности в режимах обесточивания. Обеспечение бесперебойной работы дизель-генераторного оборудования АЭС является вопросом безопасности атомной энергетики и своевременной и качественной диагностики [3].

Дизельные двигатели – разновидность поршневых двигателей внутреннего сгорания [4], отличающиеся тем, что воспламенение в цилиндрах происходит за счет сжатия топливоздушной смеси.

В основе работы дизелей может лежать четырехтактный либо двухтактный цикл. В первом случае два оборота коленчатого вала осуществляются за счет следующих событий: 1) впуск воздуха в цилиндр через впускной клапан при перемещении поршня вниз; 2) сжатие воздуха при перемещении поршня вверх и подача топлива от ТНВД через форсунки; 3) воспламенение и ход поршня вниз за счет расширения воспламенившейся смеси; 4) выпуск отработавших газов из цилиндра через открытый выхлопной клапан при перемещении поршня вверх.

Если дизель двухтактный, для совершения одного оборота коленчатого вала должны реализоваться следующие действия: 1) удаление за счет открытия выпускных окон (в стенке цилиндра) продуктов горения и почти одновременно впуск воздуха в цилиндр через впускные окна при перемещении поршня вверх, впрыск топлива; 2) воспламенение и ход поршня вниз за счет расширения воспламенившейся смеси. Пример четырехтактного цикла дизеля схематично изображен на рисунке 1.

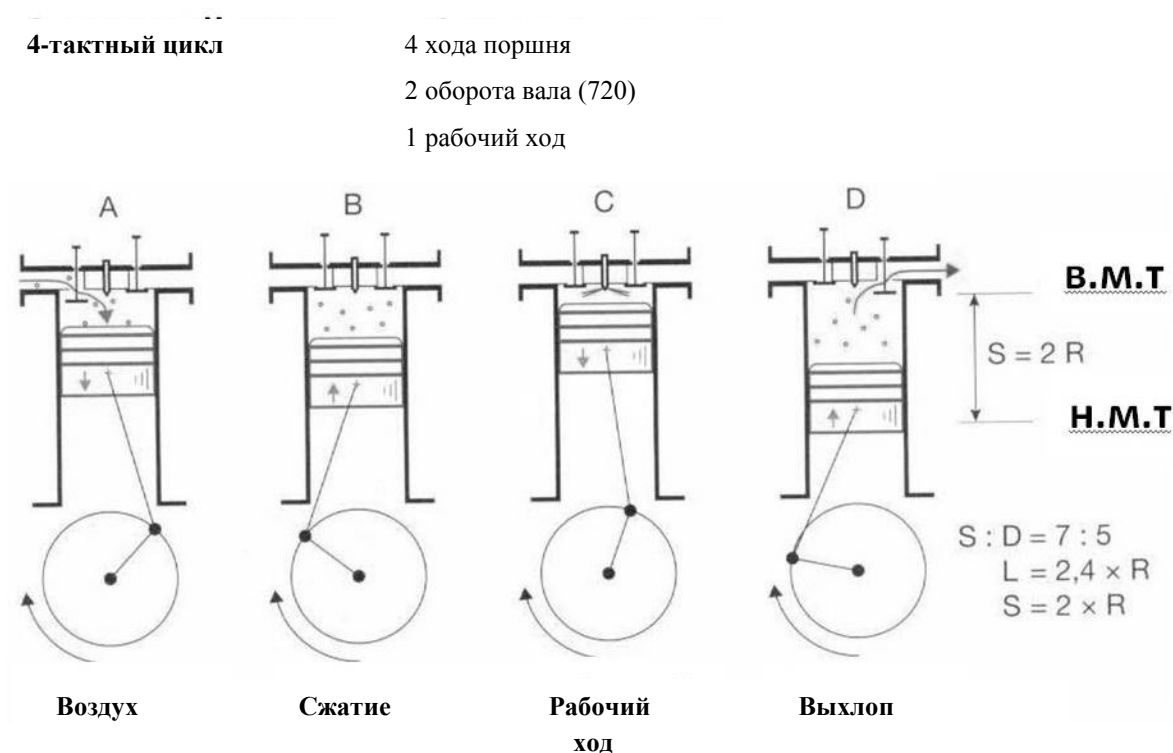


Рисунок 1 – Четырехтактный цикл дизеля [Four stroke diesel cycle]

Очевидно, работа дизелей обеспечивается правильным функционированием топливной аппаратуры, – ТНВД и форсунок, – и исправностью цилиндропоршневой группы. Неправильная настройка, например, кулачков ТНВД или износ резиновых колец, уплотняющих впускные окна, приводит к неравномерности вращения коленчатого вала и, как следствие, ухудшению качества вырабатываемой электроэнергии, повышенному расходу топлива, преждевременному износу. Пример двухтактного цикла дизеля схематично изображен на рисунке 2.

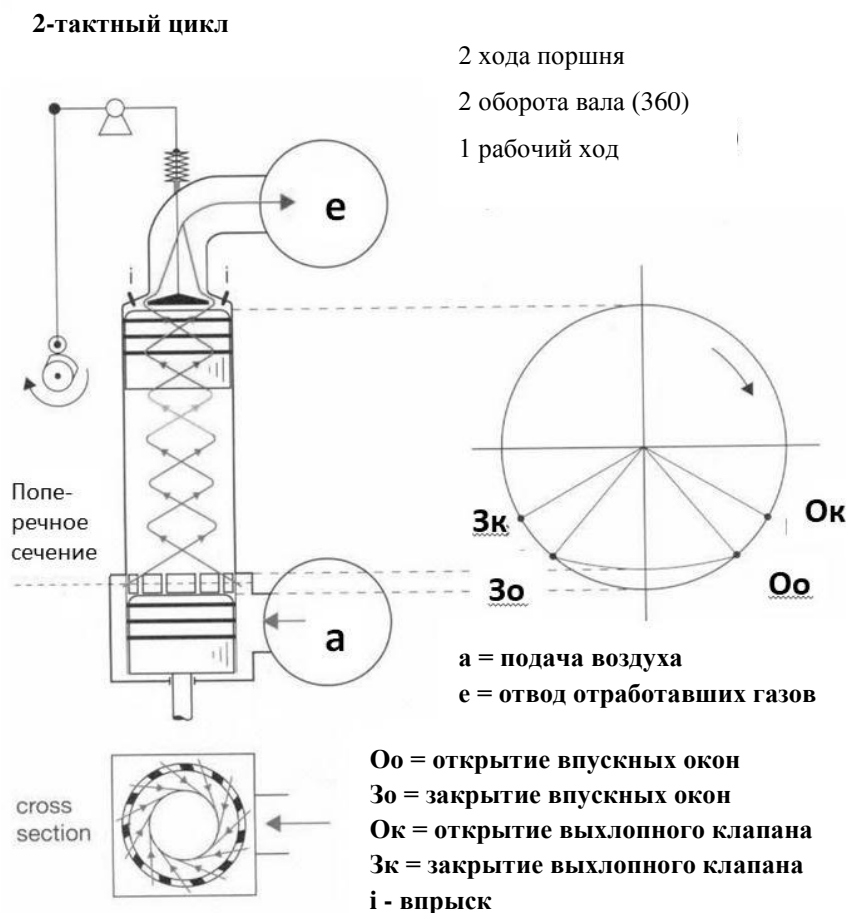


Рисунок 2 – Двухтактный цикл дизеля [Push-pull diesel cycle]

Таким образом, при диагностировании любого дизеля контролю (при условии доступности) должны подвергаться следующие элементы конструкции: ТНВД, форсунки, цилиндры, подшипники коленчатого вала, подшипники ГТН, насосов воды и масла [5].

Генераторы представляют собой синхронные машины, состоящие из неподвижного статора и вращающегося в подшипниках ротора. Как во всех синхронных машинах, ротор представляет собой электромагнит, питающийся постоянным током через щеточно-коллекторный аппарат [6]. Исправность электрической машины определяется в первую очередь состоянием обмоток статора и подшипников. При эксплуатации синхронных машин зачастую возникают сложности с щеточно-коллекторным питанием ротора, которое необходимо контролировать.

В соответствии с решением задачи структурирования необходимо определить все информационные потоки, которые характеризуют номинальное функционирование объекта (в данном случае ДГУ).

На основании исследования фазового пространства и в соответствии с классификацией ИИС, изложенной в [7], синтезируемый программно-технический комплекс относится к многоканальным многопараметрическим системам. Учитывая, что диагностический процесс выполняется на основе анализа трендов четырех векторных параметров: вибраций, ультразвуковых колебаний, тепловых векторных полей и индикаторных диаграмм давлений в цилиндрах двигателей, целесообразно представить информационные потоки в форме совокупности обобщенных категорных отображений, которые учитывают процесс образования параметрического потока на контролируемом объекте с помощью объекта-множества.

В данном случае все компоненты совокупности обобщенных категорий отличаются большим количеством существенных параметров объекта измерений (ДГУ) и числом мер, определяющих фазовое пространство объекта, поэтому следует реализовать поэтапный структурный синтез ППТК [8].

Начальная структура измерительного комплекса [7] имеет вид, отображенный на рисунке 3.

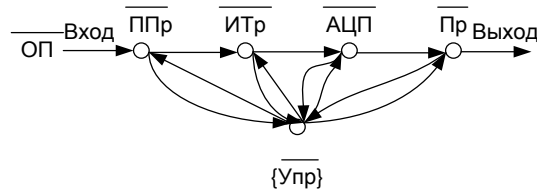


Рисунок 3 – Начальная структура ППТК [The initial structure of the software and hardware complex]

Для раскрытия содержания функтора (3) необходимо учесть использование большого числа функциональных преобразований. В их состав входит модуль взаимодействия, настройки и управления комплексом, содержащий submodule экспресс – анализа и визуализации с выводом результатов измерения на экран; составления маршрута обследования ДГУ с указанием точек измерения вибраций и областей измерения температуры; расчета тренда возможного изменения параметров технического состояния для прогнозирования остаточного ресурса ДГУ и оценки качества работы в межремонтный период.

В соответствии с идеологией проектирования сложных систем, изложенной в [8], сформируем граф структуры измерительного комплекса. Он имеет вид, отображенный на рисунке 4.

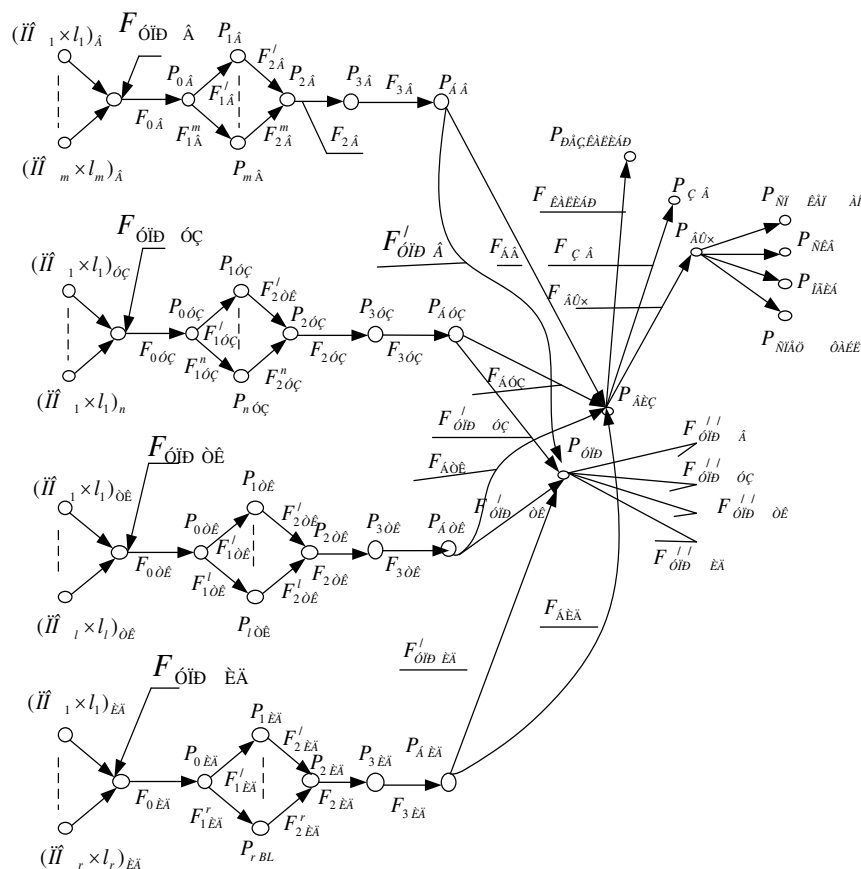


Рисунок 4 – Структурный (блочный) граф комплекса диагностики [Structural (block) graph of the diagnostic complex]

Полученный граф (см. рис. 4) представляет собой начальный вариант структурного (блочного) функционального распределения, который может быть реализован.

Последним шагом алгоритма синтеза оптимальной структуры за счет перераспределения исходной системы внутренних функций ПТК при условии сохранения внешней функции ПТК является построение результирующего графа, в качестве элементов которого используются компоненты множества наименьшей внешней устойчивости T_{min} а связи между элементами устанавливаются в соответствии со связями, существующими на исходном графе (в данном случае на графе (см. рис. 4). При этом поглощенные отображения восстанавливаются в виде петель у тех элементов, которые входят в состав множества T_{min} . С учетом этих замечаний результирующий граф имеет вид, отображенный на рисунке 5.

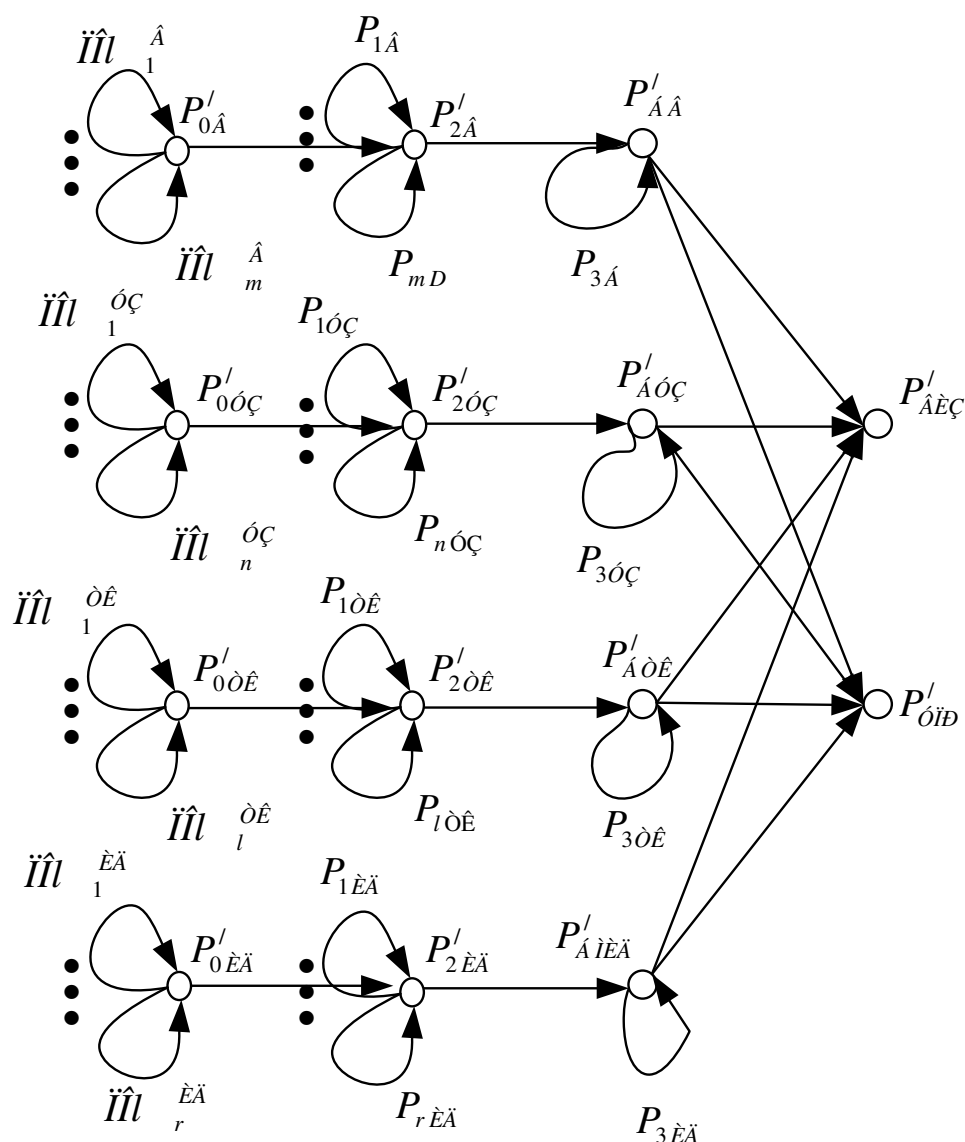


Рисунок 5 – Результирующий граф комплекса диагностики [The resulting graph of the diagnostic complex]

Окончательно на основании структуры, представленной на графе (см. рис. 5), строим блок-схему ПТК, изображенную на рисунке 6.

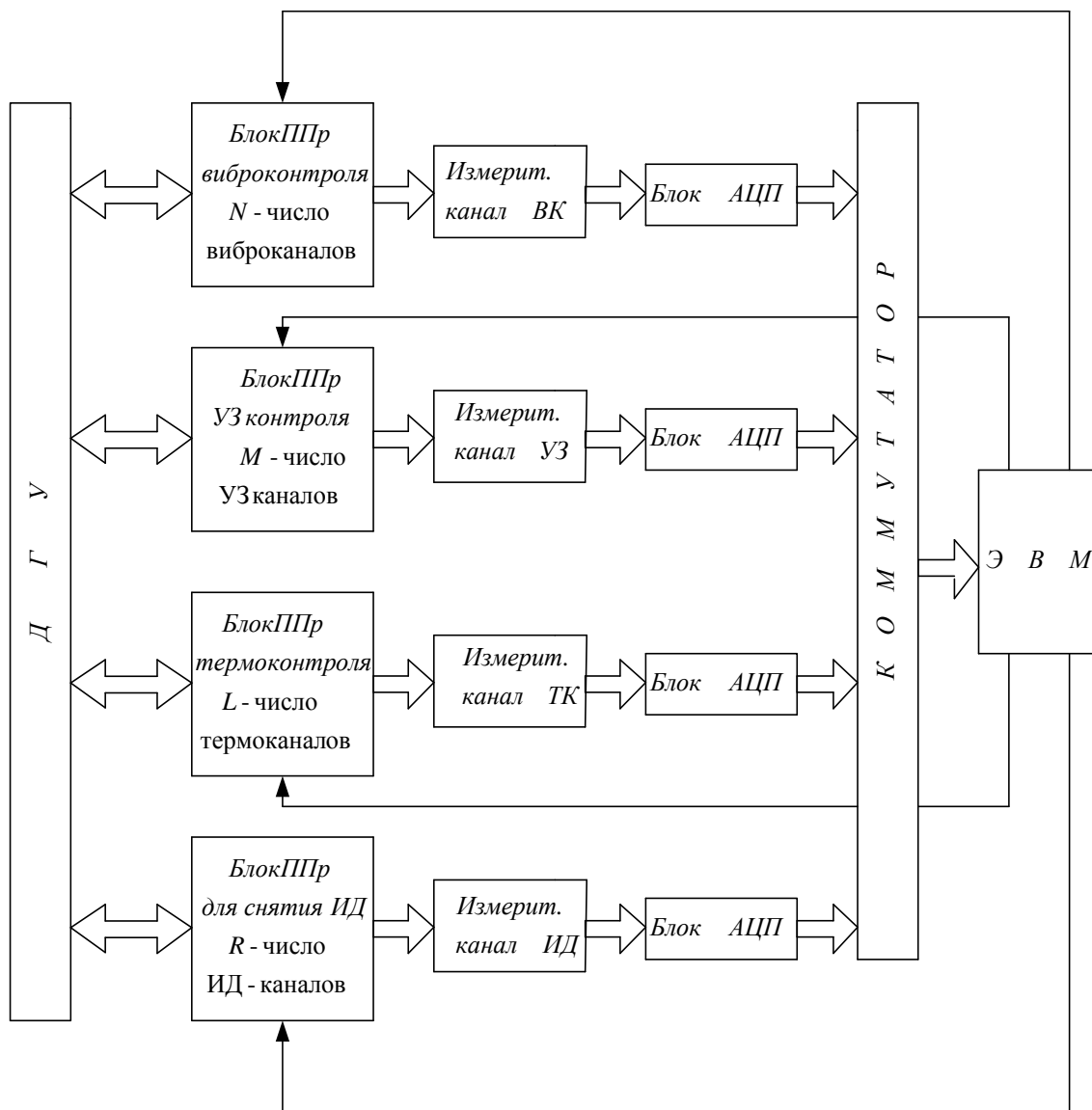


Рисунок 6 – Блок-схема программно-технического комплекса для диагностики состояния ДГУ [Block diagram of a software and hardware complex for diagnosing the condition of diesel generator units]

Особенностью этой блок-схемы является представление ПТКв виде подсистем. В данном случае особый интерес представляет структура алгоритма управления, которая определяется большим числом разнообразных типов и видов преобразований. При этом вектор управляющих преобразований $\vec{F}_{упр} (в. уз, тк, ид)$ должен реализовать следующие режимы: запись с визуализацией в режиме реального времени регистрации параметров; автоматическое определение количества активных каналов записи; обмен данными с блоком анализа и базой данных ПК; вычисление СКВ виброскорости; построение огибающей сигналов виброколебаний и просмотр ее в любой точке; формирование файла с указанием типа и обозначения работы ДГУ, реализуемой мощности, даты и времени проведения измерения; калибровка; обработка сигналов с привлечением спектрального и кепстрального видов анализа с визуализацией огибающей.

Для осуществления комплексного подхода к диагностированию ДГУ в соответствии с разработанной блок-схемой, нами был создан и успешно опробован программно-технический комплекс (рис. 7) [9-12].



Рисунок 7 – Переносной программно-технический комплекс диагностирования дизель-генераторных установок [Portable software and hardware complex for diagnostics of diesel generator units]

Данный комплекс предназначен для диагностирования дизель-генераторного оборудования безразборным способом в помещении дизель-генераторной установки АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диагностирование дизель-генераторного оборудования АЭС с использованием детерминированных и стохастических методов / Е. А. Абидова, Л. С. Хегай, А. В. Чернов [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 3(20). – С. 74-79.
2. Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Комментарии к федеральным нормам и правилам «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15)»: приказ Ростехнадзора от 03.10.2018 N 486. – URL : www.consultant.ru (дата обращения: 15.11.2019).
3. Носов, В. В. Диагностика машин и оборудования / В. В. Носов. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 384 с.
4. Тихомиров, М. В. Разработка диагностического комплекса для электронной системы управления отечественных автомобильных дизелей / М. В. Тихомиров, С. В. Овчинников, Ю. Е. Хрящев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2015. – № 1. – С. 142-148. – DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-142-148. – ISSN 0236-3941.
5. Возницкий, И. В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин. – Санкт-Петербург : Модерн, 2006.
6. Крашенинников, С. В. Современные подходы к диагностированию дизельных двигателей внутреннего сгорания // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2013. – Выпуск № 2(12). – С. 59-68. – DOI: 10.15293/2226-3365. – ISSN 2226-3365.
7. Муха, Ю. П. Информационно-измерительные системы / Ю. П. Муха, И. Ю. Королева; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 167 с.

8. Муха, Ю. П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: монография / Ю. П. Муха, О. А. Авдеев, И. Ю. Королева; ВолгГТУ. – Волгоград : РПК «Политехник», 2003. – 320 с.
9. Пугачева, О. Ю. Диагностика дизель-генератора 15Д-100 по показателям вибрации / О. Ю. Пугачева, А. К. Пугачев, В. И. Соловьев, Е. А. Абидова // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2(11). – С. 91-97.
10. ГОСТ 31349-2007. Межгосударственный стандарт. Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение вибрации и оценка вибрационного состояния (введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 24.01.2008 N 3-ст): Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. – Часть 9. Измерение и оценка механической вибрации. – URL : www.consultant.ru (дата обращения: 15.11.2019).
11. РД 153-34.0-20.364-00. Руководящий документ. Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования (утв. РАО ЕЭС России 26.04.2000). – URL : www.consultant.ru (дата обращения: 15.11.2019).
12. ISO 10816-6:1995. Вибрация механическая. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины с возвратно-поступательным движением номинальной мощностью свыше 100 кВт. – URL : www.consultant.ru (дата обращения: 15.11.2019).

REFERENCES

- [1] Abidova E.A., Hegay L.S., Chernov A.V. [i dr.] Diagnostirovanie dizel'-generatornogo oborudovaniya AE'S s ispol'zovaniem determinirovanny'x i stoxasticheskix metodov [Diagnostics of Diesel Generator Equipment of Nuclear Power Plants Using Deterministic And Stochastic Methods]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2016. № 3(20). P. 74-79 (in Russian).
- [2] Ob utverzhdenii rukovodstva po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoj e'nergii «Kommentarii k federal'ny'm normam i pravilam «Obshhie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomny'x stancij» (NP-001-15)»: prikaz Rostexnadzora ot 03.10.2018 N 486 [About the Statement of the Manual on Safety at Use of Atomic Energy "Comments to Federal Norms and Rules" General Provisions of Safety of Nuclear Power Plants" (NP-001-15)": the order of Rostekhnadzor of 03.10.2018 N 486]. – URL : www.consultant.ru (data obrashheniya [date accessed]: 15.11.2019) (in Russian).
- [3] Nosov V.V. Diagnostika mashin i oborudovaniya [Diagnostics of Machinery and Equipment: a Training Manual]. Lan', 2012. 384 p. (in Russian).
- [4] Tihomirov M.V. Razrabotka diagnosticheskogo kompleksa dlya elektronnoj sistemy upravleniya otechestvennyh avtomobil'nyh dizelej [Development of Diagnostic Complex for Electronic Control System for Domestic Automobile Diesel Engines]. Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie [Bulletin of MSTU. N.E. Bauman. Ser. Engineering]. 2015. № 1. P. 142-148. DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-142-148. ISSN 0236-3941 (in Russian).
- [5] Voznickij I.V. Povrezhdeniya i polomki dizelej. Primery i analiz prichin [Malfunctions and Breakdown of Diesel Engines. Examples and Analysis of Causes]. Saint-Petersburg. Modern 2006 (in Russian).
- [6] Krashenninnikov S.V. Sovremennye podhody k diagnostirovaniyu dizel'nyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Modern Approaches to the Diagnosis of Diesel Internal Combustion Engines]. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Bulletin of the Novosibirsk State Pedagogical University]. 2013. № 2 (12). P. 59-68. DOI: 10.15293/2226-3365. ISSN 2226-3365 (in Russian).
- [7] Muha Yu.P. Informacionno-izmeritel'nye sistemy [Information-Measuring Systems]. VolgGTU. [VSTU]. Volgograd. 2018. 167 p. (in Russian).
- [8] Muha Yu.P. Algebraicheskaya teoriya sinteza slozhnyh sistem: monografiya [Algebraic Theory of the Synthesis of Complex Systems: monograph]. VolgGTU [VSTU]. Volgograd : RPK «Politekhnik». 2003. 320 p. (in Russian).
- [9] Pugacheva O. Yu. Diagnostika dizel'-generatora 15D-100 po pokazatelyam vibracii [Diagnostics of the 15D-100 Diesel Generator by Vibration Indicators]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2014. № 2(11). P. 91-97 (in Russian).
- [10] GOST 31349-2007. Mezhhgosudarstvennyj standart. Elektroagregaty generatornye peremennogo toka s privodom ot dvigatelya vnutrennego sgoraniya. Izmerenie vibracii i ocenka vibracionnogo sostoyaniya": (vveden v dejstvie Prikazom Rostekhnregulirovaniya ot 24.01.2008 N 3-st): Elektroagregaty generatornye peremennogo toka s privodom ot dvigatelya vnutrennego sgoraniya. CHast' 9. Izmerenie i ocenka mekhanicheskoy vibracii. [Interstate Standard. Generator Sets of

- Alternating Current Driven by an Internal Combustion Engine. Measurement of Vibration and Assessment of the Vibration State ": (entered into force by the Order of January 24, 2008 No. 3-st): Alternating Current Generating Units Driven by an Internal Combustion Engine. Part 9. Measurement and Evaluation of Mechanical Vibration]. URL: www.consultant.ru (in Russian).
- [11] RD 153-34.0-20.364-00. Rukovodyashchij dokument. Metodika infrakrasnoj diagnostiki teplomekhanicheskogo oborudovaniya" : (utv. RAO "EES Rossii" 26.04.2000). [Guidance Document. Methodology for Infrared Diagnostics of Thermomechanical Equipment ": (approved by RAO" UES of Russia "04/26/2000)] URL: www.consultant.ru (in Russian).
- [12] ISO 10816-6:1995. Vibraciya mekhanicheskaya. Ocenka sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmerenij vibracii na nevrashchayushchihsya chastyah. CHast' 6. Mashiny s vozvratno-postupatel'nyy dvizheniem nominal'noj moshchnost'yu svyshe 100 kvv. [Mechanical Vibration. Assessment of the Condition of Machines According to the Results of Measurements of Vibration on Non-Rotating Parts. Part 6. Machines with Reciprocating Motion with a Rated Power Exceeding 100 kW]. URL: www.consultant.ru (in Russian).

Synthesis of Block Diagram of Portable Software and Technical Complex for NPP Diesel Generator Unit Diagnostics

A.E. Dembitsky^{*1}, Yu.P. Mucha^{**2}, A.V. Chernov^{*3}, E.A. Abidova^{*4}

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

^{**} Volgograd State Technical University, etc. to them. Lenin, 28, (8442) Volgograd, Russia 400005

¹ORCID iD: 0000-0003-4616-621X

WoS Researcher ID: O-3133-2018

e-mail: demartev@mail.ru

²ORCID iD: 0000-0003-0919-5732

WoS Researcher ID: M-4084-2015

e-mail: muxaup@mail.ru

³ORCID iD: 0000-0003-2700-0898

WoS Researcher ID: G-3742-2017

e-mail: chernov.alexander47@mail.ru

⁴ORCID iD: 0000-0003-0258-5543

WoS Researcher ID: O-1870-2018

e-mail: e-abidova@mail.ru

Abstract – The article considers the creation of a portable software and hardware complex for diagnostics of diesel generator sets of nuclear power plants to increase the sensitivity of diagnosis of diesel generator sets and conduct a comprehensive analysis of diagnostic parameters. The work provides a synthesis of a block diagram of a portable software and hardware complex for diagnostics of diesel generator units of nuclear power plants.

Keywords: standby diesel power station, complex analysis, vibration diagnostics, thermal imaging control, analysis of ultrasonic parameters, synthesis, portable software and hardware complex.