

---

---

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 004.65:53.083.91:67.05:621.039

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ НОВЫХ ЭНЕРГООБЛОКОВ АЭС

© 2019 З.О. Кавришвили, В.Л. Рачков

*Ростовский филиал «Ростоватомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго», Волгодонск-28,  
Ростовская обл., Россия*

Современное техническое диагностирование позволяет обследовать оборудование многочисленными методами неразрушающего контроля, которые дополняют друг друга и повышают достоверность оценки технического состояния. Сочетание большого объема диагностических данных и многообразия методов диагностирования подводит к необходимости объединения потоков диагностической информации в единой информационной системе, обеспечивающей автоматизацию сбора и обработки диагностических параметров. Силами специалистов «Ростоватомтехэнерго» была спроектирована и реализована информационная система, обладающая необходимыми свойствами.

*Ключевые слова:* автоматизированная система, диагностические параметры, диагностика оборудования, оборудование энергоблоков АЭС

Поступила в редакцию 04.06.2019

После доработки 07.08.2019

Принята к публикации 13.08.2019

### **Введение**

Переход предприятий атомной промышленности от традиционного подхода к обслуживанию оборудования «по регламенту» к обслуживанию «по техническому состоянию» с применением новых многочисленных методов технического диагностирования, диктует необходимость ведения учёта и анализа результатов технического диагностирования, а также прогнозирования технического состояния [1-8].

Очевидным решением данной проблемы является предоставление предприятиям-владельцам оборудования информационной автоматизированной системы диагностического сопровождения, заполняемой информацией на всех стадиях жизненного цикла АЭС начиная с анализа проектной и заводской документации в подготовительный период пуско-наладочных работ (ПНР).

Однако, для получения существенного экономического эффекта недостаточно применения только цифровых технологий (т.е. разработки информационной системы). Необходимо учесть истинные потребности Заказчика и предоставить ему современный эргономичный инструмент, гармонично вписывающийся в его систему управления ресурсом оборудования (УРО).

### **Накопление диагностической информации**

Началом успешной реализации подхода обслуживания оборудования по техническому состоянию является рациональное структурирование пространства диагностической информации в рамках задач УРО, создание алгоритма получения, накопления и обработки данных. Исходным источником получения диагностической информации являются индивидуальные испытания и комплексное опробование

оборудования в ходе ПНР энергоблоков АЭС, вводимых в эксплуатацию. При этом можно выделить два основных этапа информационного наполнения автоматизированной системы, осуществляющей сбор и обработку диагностических параметров (рис. 1):

1) справочной, нормативной и первичной диагностической информацией, полученной в подготовительный период в ходе сопровождения заводских приемосдаточных испытаний (ПСИ) и строительно-монтажных работ (СМР) – на этом этапе обеспечивается накопление значений диагностических параметров, которые определяют начальное и «эталонное» техническое состояние (ТС) работоспособного оборудования;

2) функциональной мониторинговой информацией о ТС оборудования в процессе ПНР – на этом этапе формируется массив диагностических параметров, анализ характера изменения которых с течением времени позволяет количественно оценивать ресурсные характеристики оборудования и получить объективную картину о прогнозируемых сроках надежной и безопасной эксплуатации технологического оборудования к моменту ввода блока АЭС в эксплуатацию.

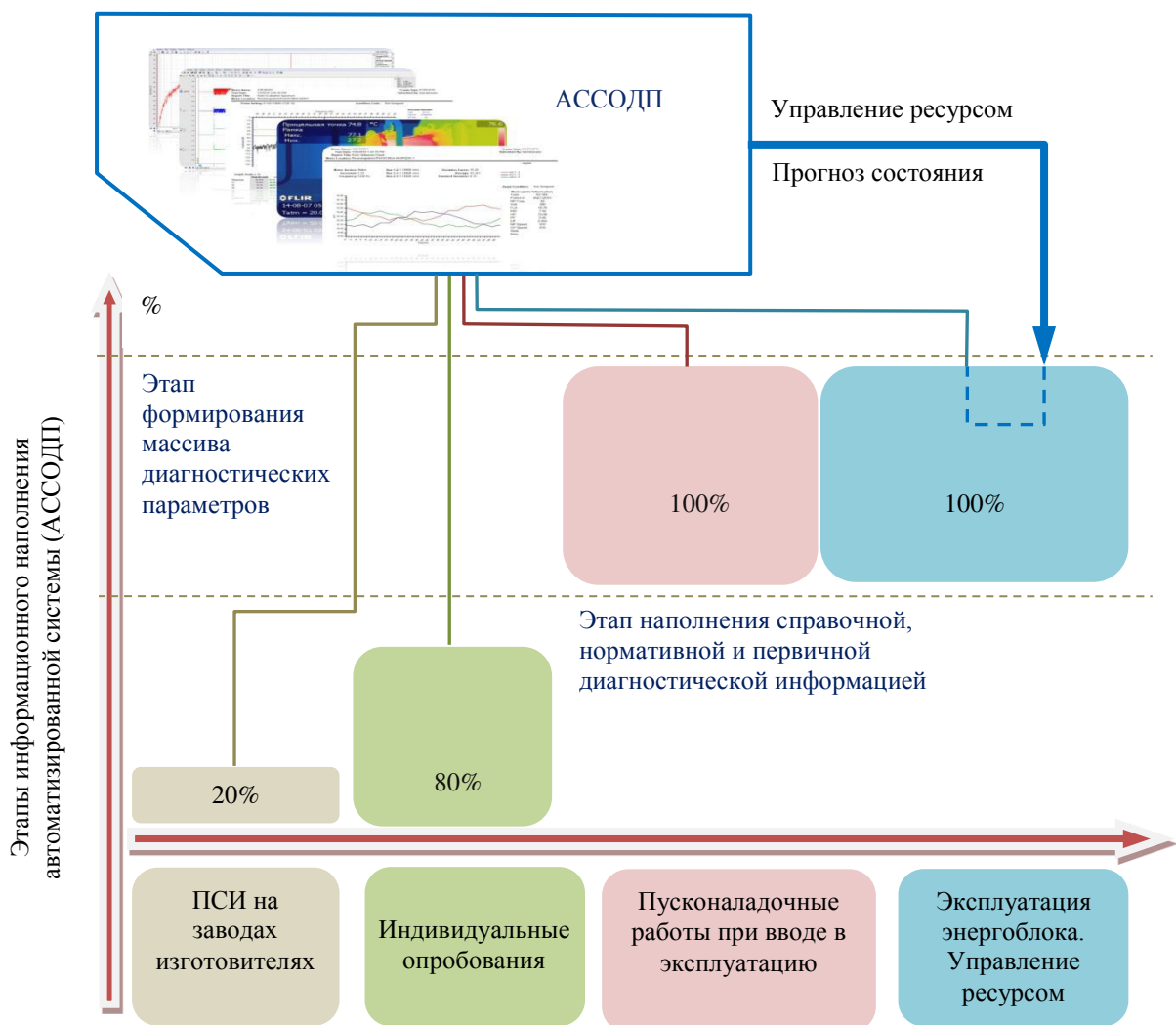


Рисунок 1 – Этапы информационного наполнения АССОДП [Content stages of automated system for collecting and processing diagnostic parameters]

**Поддержка комплексной диагностики и обеспечение инструментами диагностического анализа**

В основу функционирования автоматизированной системы сбора и обработки диагностических параметров (АССОДП) с прогнозированием технического состояния положен принцип комплексной диагностики оборудования, или «мульти-метод», основанный на применении совокупности нескольких методов контроля и алгоритма обработки информации.

Реализованные в АССОДП инструменты комплексной диагностики насосных агрегатов позволяют анализировать результаты: вибродиагностического контроля состояния агрегата (начиная от подшипниковых узлов до контурных границ агрегата); тепловизионного контроля подшипниковых узлов и систем охлаждения; акустического контроля подшипниковых узлов в ультразвуковом диапазоне; диагностики состояния электродвигателя по параметрам питающей сети; контроля натяжения и остаточного напряженно-деформированного состояния трубопроводов подачи и отвода рабочей среды насосного агрегата (рис. 2).

**Виды диагностического обследования**

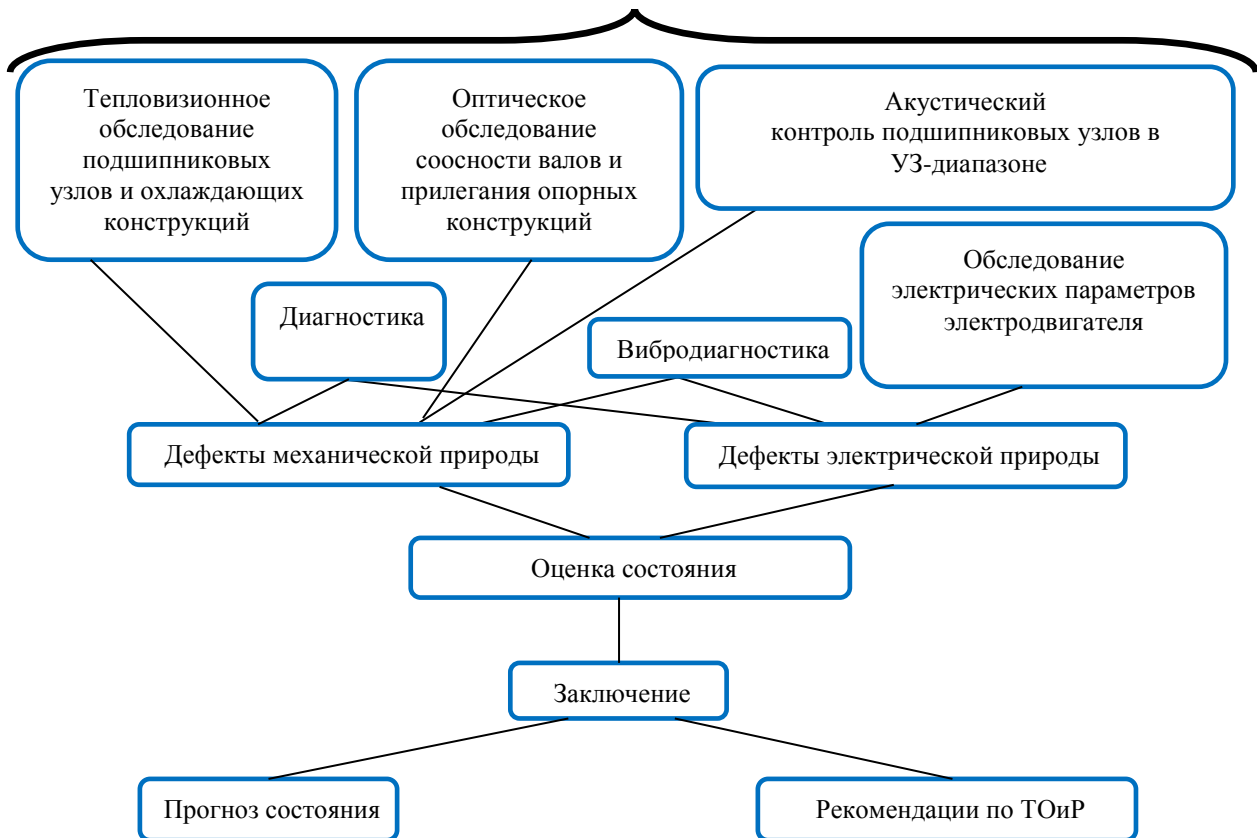


Рисунок 2 – Схема комплексной диагностики [Integrated diagnostics scheme]

Для более полной оценки состояния «мульти-методом» будет правильным добавить диагностику смазки вращающихся частей агрегата там, где это целесообразно.

Реализация в АССОДП поддержки комплексной диагностики привело к повышению производительности труда специалистов-диагностов за счет предоставления удобных инструментов анализа диагностической информации и оперативного доступа к диагностической информации для определения текущего состояния готовности оборудования.

Также в АССОДП реализован ряд дополнительных инструментов, улучшающих эффективность работы обслуживающего персонала:

- 1) предоставление необходимого набора технических характеристик оборудования;
- 2) обеспечение автоматизированного расчета характерных частот дефектов подшипниковых узлов (рис. 3);
- 3) расчет критериев работоспособности;
- 4) автоматизация протоколирования (рис. 4);
- 5) определение прогнозных характеристик и рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) оборудования.

Кроме числовой и текстовой информации в АССОДП предусмотрено хранение массивов данных в виде текстовых, аудио-файлов и других форматов, а также графической информации, необходимых для наглядного представления результатов диагностирования и формирования протоколов. В такой форме хранятся: спектральные характеристики, осциллограммы сигналов, термограммы, графики по результатам испытания изоляции и оценки состояния ротора и т.д. (рис. 5).

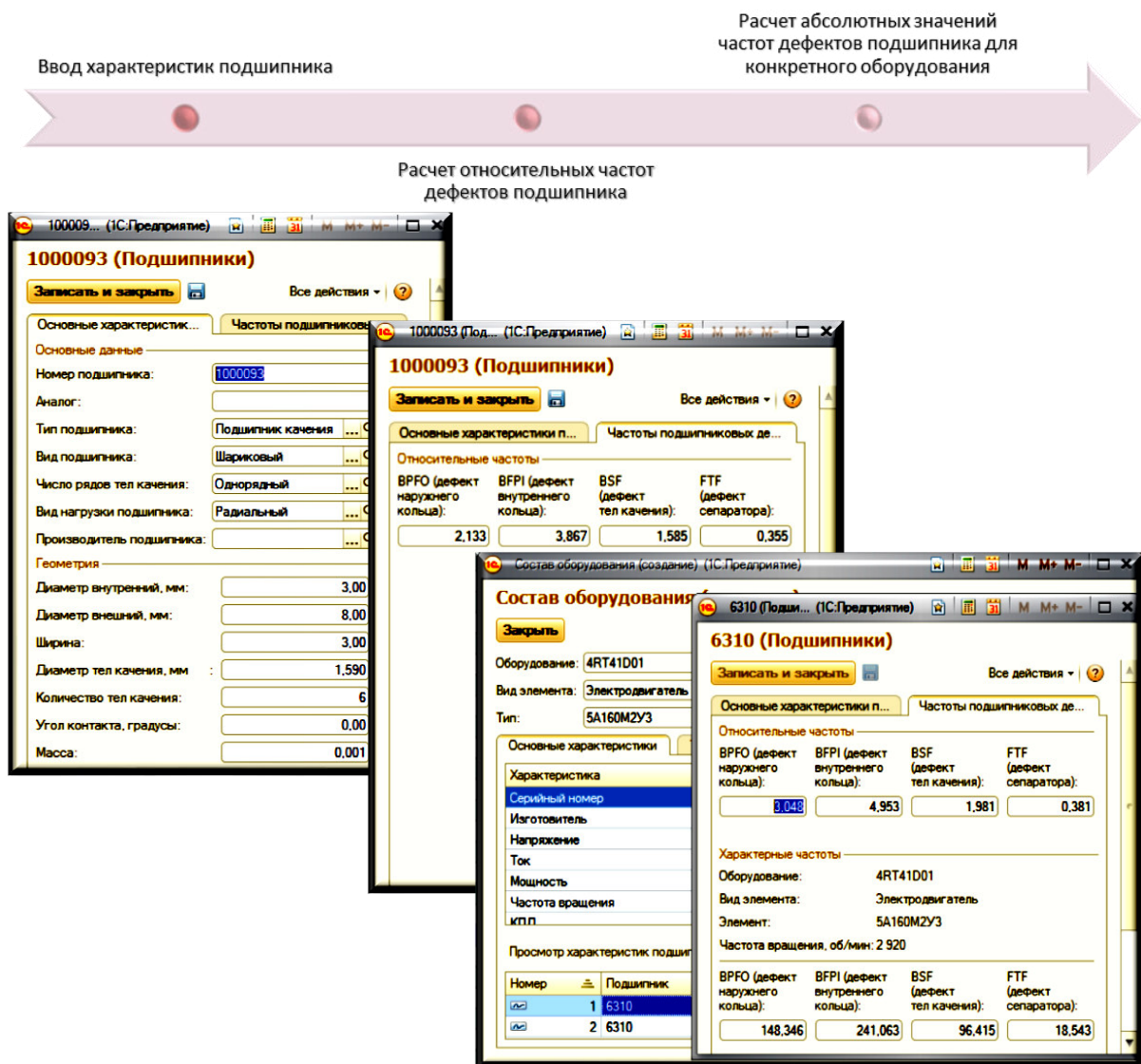


Рисунок 3 – Автоматизированный расчет характерных дефектов подшипниковых узлов [Automated calculation of specific defects of bearing assemblies]

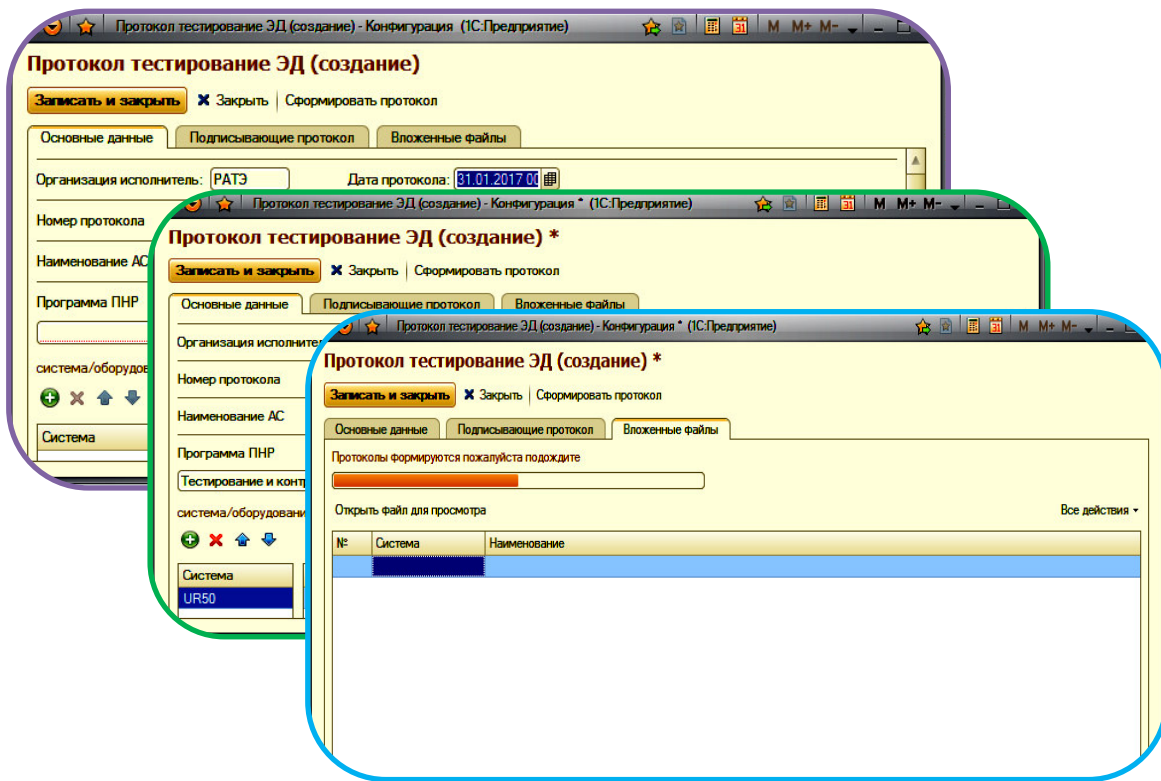


Рисунок 4 – Автоматизированное формирование диагностических протоколов [Automated generation of diagnostic protocols]

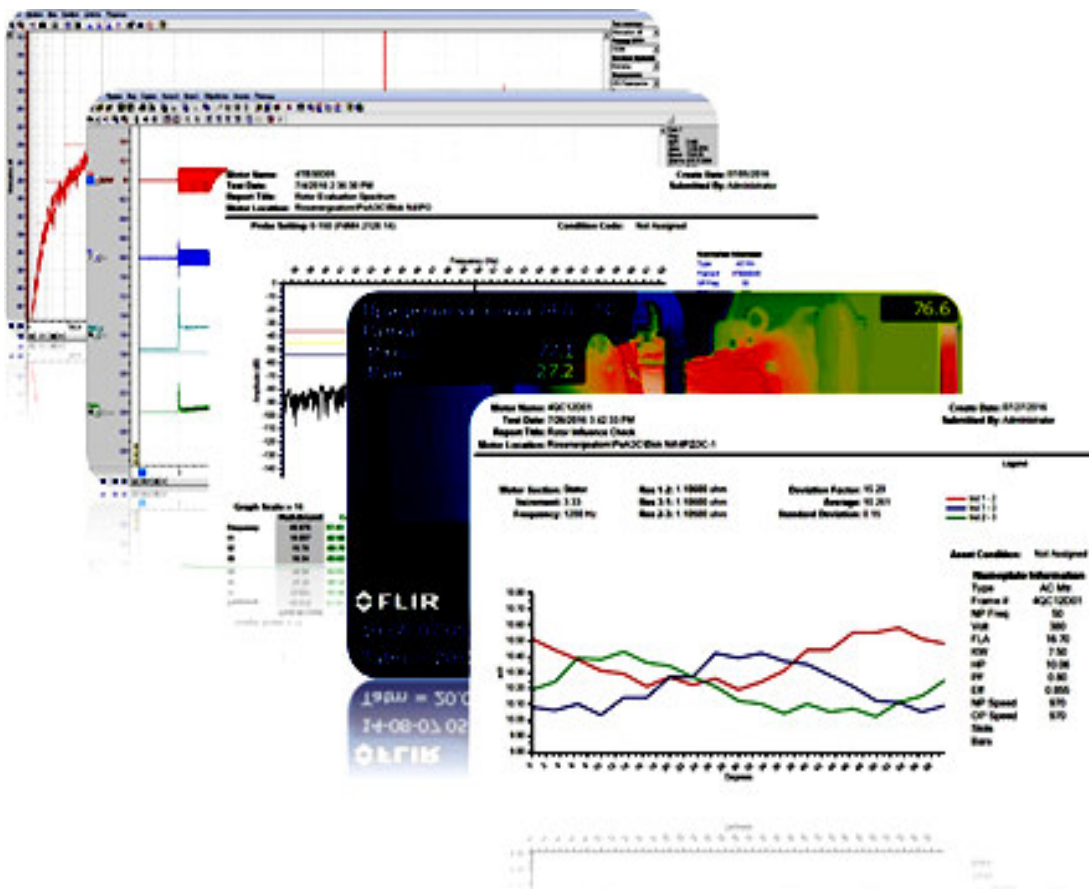


Рисунок 5 – Хранение в АССОДП данных разного типа [Storage of different data types in automated system for collecting and processing diagnostic parameters]

### Количественная оценка ресурсных характеристик оборудования

Для принятия решения о корректировке межремонтного интервала, выводе оборудования из ремонта или для выдачи рекомендаций о досрочном проведении ремонта, изменении категории ремонта:

*капитальный ремонт (КР) → средний ремонт (СР)/малый ремонт (МР)/техническое обслуживание (ТО), МР → СР/КР, МР → ТО и т.д.*

недостаточно удовлетворительной или неудовлетворительной оценки технического состояния технологического оборудования в текущий момент времени. Необходима количественная оценка ресурсных характеристик, формирующая прогноз технического состояния на определённый период работы агрегата.

Таким образом, современной информационной системе управления ресурсом необходима встроенная поддержка функции прогнозирования технического состояния оборудования.

Силами специалистов «Ростоватомтехэнерго» в АССОДП создан модуль оценки ресурсных характеристик. В настоящее время в нем реализован алгоритм детерминированного прогнозирования (рис. 6) на основе регрессионного моделирования [9].

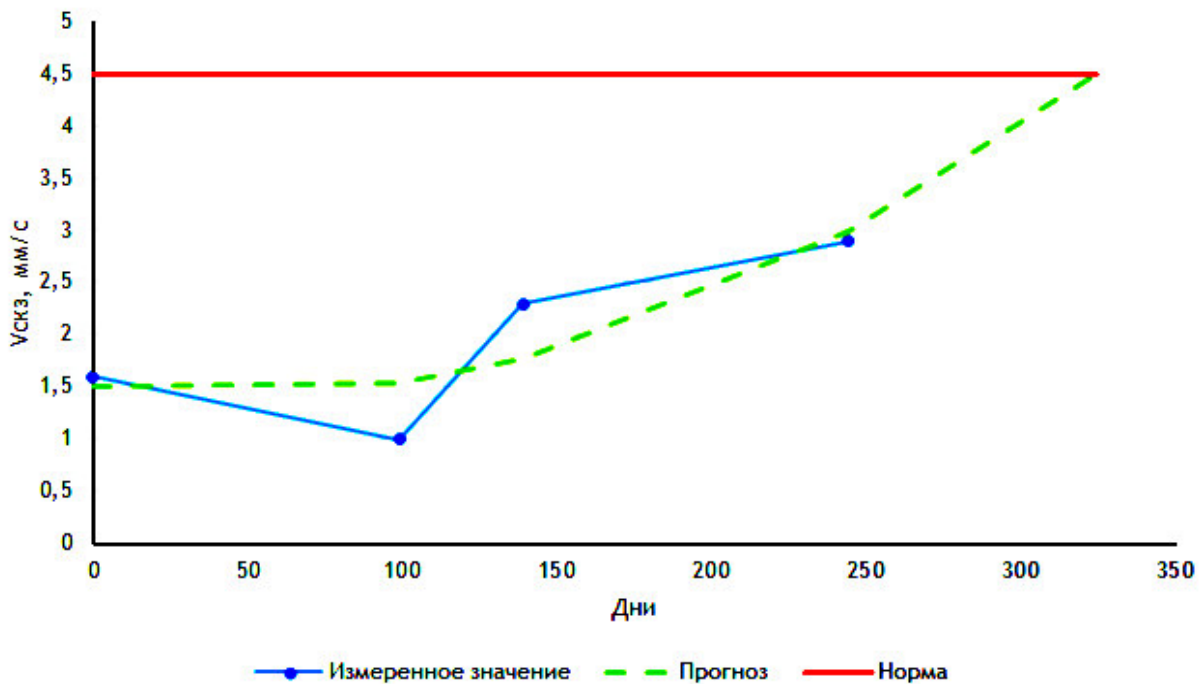
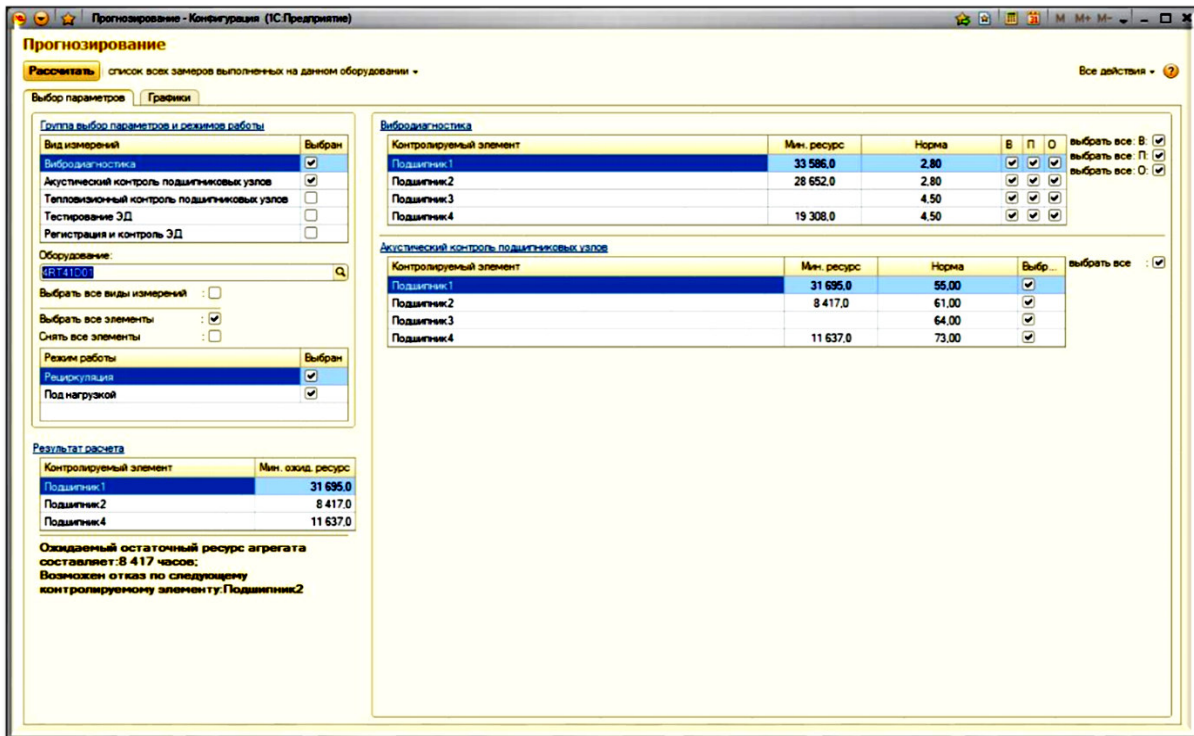


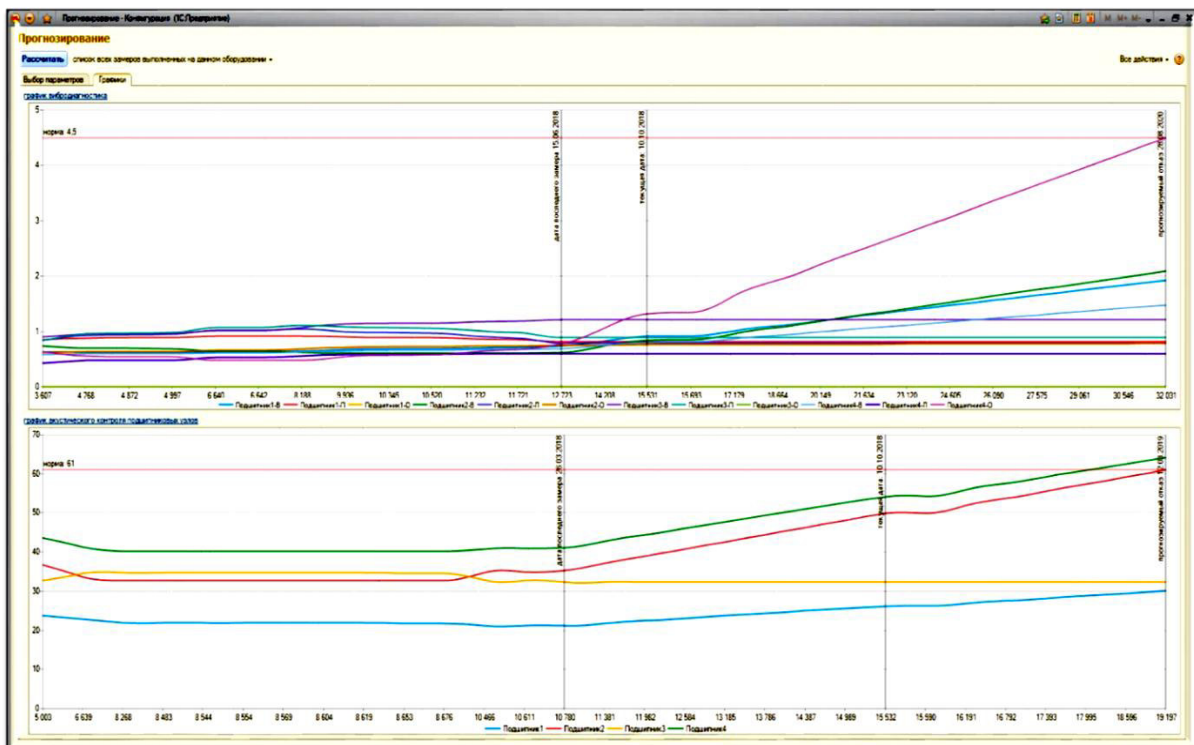
Рисунок 6 – Прогнозирование технического состояния в среде АССОДП методом квадратичной регрессии (детерминированный подход) [Prediction of the technical condition in the automated system for collecting and processing diagnostic parameters by the method of quadratic regression (deterministic approach)]

Реализация интерфейса вывода результатов прогнозирования остаточного ресурса приведены на рисунке 7.

В дальнейшем модуль расчета ресурсных характеристик будет дополнен более совершенными методами стохастического прогнозирования [10-12], основанными на вероятностных оценках анализируемой выборки значений ресурсных параметров (рис. 8).



а)



б)

Рисунок 7 – Интерфейс модуля прогнозирования ресурсных характеристик в АССОДП: а) табличная форма, содержащая входную и выходную информацию прогнозирования технического состояния; б) графическая визуализация результатов расчета остаточного ресурса [The interface of the module for predicting resource characteristics in an automated system for collecting and processing diagnostic parameters: a) a tabular form containing the input and output information for predicting the technical condition; b) graphical visualization of the results of calculating the residual resource]

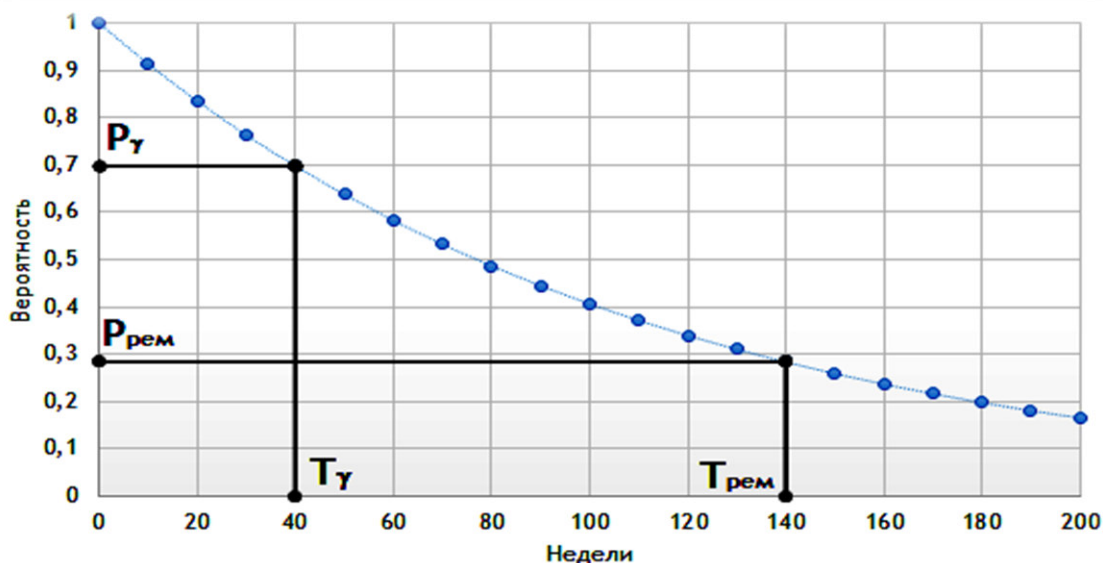


Рисунок 8 – Стохастическое прогнозирование методами теории вероятности:

$P_\gamma$  – вероятность безотказной работы оборудования,  $T_\gamma$  –  $\gamma$ -процентный ресурс оборудования,  $P_{\text{рем}}$  – вероятность безотказной работы оборудования за время  $T_{\text{рем}}$ , оставшееся до очередного планового ремонта [Stochastic forecasting by probability theory methods:  $P_\gamma$  is the probability of equipment failure-free operation,  $T_\gamma$  is the equipment  $\gamma$ -percent life,  $P_{\text{рем}}$  is the probability of equipment failure-free operation during the time  $T_{\text{рем}}$  remaining until the next scheduled repair]

### Выводы

1. Применение АССОДП на опыте проведения пусконаладочных работ при вводе в эксплуатацию энергоблоков №3 и №4 Ростовской АЭС, позволило осуществить переход от традиционного метода вибродиагностики насосного оборудования к совершенно новому качественному уровню оценки и прогнозирования технического состояния, повысить точность диагноза дефектного оборудования, тем самым практически исключить повторные пуски агрегатов для уточнения причин повышенной вибрации и определения технического состояния оборудования.

2. Система АССОДП является практической реализацией эффективных диагностических методов прогнозирования и предупреждения технологических нарушений эксплуатации оборудования АЭС на основе обработки ресурсных параметров [8,9].

3. Реализация АССОДП является первым шагом в направлении полноценной реализации стратегии ТОиР оборудования по фактическому ТС [4,7], как одна из первых систем, имеющих модуль прогнозирования ТС оборудования.

4. Решение задачи прогнозирования ТС оборудования должно реализовываться посредством обоснованного подбора диагностических параметров и назначения для них критериев, предиктивный анализ которых позволит с высокой степенью вероятности предсказывать ТС оборудования в будущем.

5. Система АССОДП представляет собой начальный этап цифровизации диагностического сопровождения эксплуатации.

6. Впоследствии АССОДП может быть модернизирована в «Информационную блочную систему технического диагностирования», собирающую данные не только с портативных приборов, но и датчиков АСУТП, автоматически анализирующую параметры и выдающую рекомендации и уведомления/предупреждения оперативному персоналу АЭС. Т.е. АССОДП имеет потенциал трансформации в цифровую платформу.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД ЭО 0039-95. Нормативно-методологические требования к управлению ресурсными характеристиками элементов энергоблоков АС. – Москва, 1997. – URL : [http://www.snti.ru/snips\\_rd3.htm](http://www.snti.ru/snips_rd3.htm).
2. РД ЭО 0096-98. Типовое положение по управлению ресурсными характеристиками элементов энергоблоков АС / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 1998. – URL : [http://www.snti.ru/snips\\_rd3.htm](http://www.snti.ru/snips_rd3.htm).
3. РД ЭО 1.1.2.01.0769-2008. Организация ремонта оборудования атомных станций по техническому состоянию. Основные положения / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2008. – URL : [http://www.snti.ru/snips\\_rd3.htm](http://www.snti.ru/snips_rd3.htm).
4. *Ташлыков, О. Л.* Ремонт оборудования атомных станций / О. Л. Ташлыков. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2018. – 352 с.
5. *Воробьев, В. А.* Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации / В. А. Воробьев. – Москва : Юрайт, 2017. – 338 с.
6. СТО 1.1.1.01.007.0281-2010. Управление ресурсными характеристиками элементов энергоблоков атомных станций / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2010. – URL : [https://standartgost.ru/g/pkey-14293819162/%D0%A1%D0%A2%D0%9E\\_1.1.1.01.007.0281-2010](https://standartgost.ru/g/pkey-14293819162/%D0%A1%D0%A2%D0%9E_1.1.1.01.007.0281-2010).
7. СТО 1.1.1.01.0069-2017. Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2017. – URL : <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/376/37644e5aa93eec0702537d60b9511e84.pdf>.
8. *Сальников, А. А.* Прогнозирование и предотвращение технологических нарушений эксплуатации оборудования АЭС : автореферат диссертации кандидата технических наук / А.А. Сальников. – Волгодонск, 2016. – 25 с.
9. РД 26.260.004-91. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. – Москва: Издательство НИИХИММАШ, 1992. – 50 с. – URL : <https://files.stroyinf.ru/Data1/9/9239/>.
10. *Дорохов, А. Н.* Обеспечение надежности сложных технических систем / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов. – Москва : Лань, 2017. – 352 с.
11. *Стельмашонок, Е. В.* Моделирование процессов и систем / Е. В. Стельмашонок [и др.]. – Москва : Юрайт, 2017. – 289 с.
12. *Алпатов, Ю. Н.* Математическое моделирование производственных процессов / Ю. Н. Алпатов, Т. С. Спирина. – Москва : Лань, 2018. – 136 с.

## REFERENCES

- [1] RD E`O 0039-95. Normativno-metodologicheskie trebovaniya k upravleniyu resursny`mi karakteristikami e`lementov e`nergoblokov AS [RD EO 0039-95. Regulatory and Methodological Requirements for the Resource Characteristics Management of Power Unit Elements]. Moscow. 1997. – URL : [http://www.snti.ru/snips\\_rd3.htm](http://www.snti.ru/snips_rd3.htm) (in Russian).
- [2] RD E`O 0096-98. Tipovoe polozhenie po upravleniyu resursny`mi karakteristikami e`lementov e`nergoblokov atomny`x stancij [RD EO 0096-98. Standard Provision on Resource Characteristics Management of Elements of Power Units of Nuclear Power Plants]. ОАО «Koncern Rose`nergoatom» [«Concern Rosenergoatom» JSC]. Moscow. 1998. – URL : [http://www.snti.ru/snips\\_rd3.htm](http://www.snti.ru/snips_rd3.htm) (in Russian).
- [3] RD E`O 1.1.2.01.0769-2008. Organizaciya remonta oborudovaniya atomny`x stancij po texnicheskomu sostoyaniyu. Osnovny`e polozheniya [RD EO 1.1.2.01.0769-2008. Organization of Equipment Repair of Nuclear Power Plants According to Technical Condition. Fundamentals]. ОАО «Koncern Rose`nergoatom» [«Concern Rosenergoatom» JSC]. Moscow. 2008. – URL : [http://www.snti.ru/snips\\_rd3.htm](http://www.snti.ru/snips_rd3.htm) (in Russian).
- [4] Tashlykov O.L. Remont oborudovaniya atomny`x stancij [Repair of Nuclear Power Plant Equipment]. Ekaterinburg. Ural`skij federal`nyj universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. El`cina [Yekaterinburg. Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin]. 2018. 352 p. (in Russian).
- [5] Vorobyov V.A. E`kspluatatsiya i remont e`lektrrooborudovaniya i sredstv avtomatizacii [Operation and Repair of Electrical Equipment and Automation]. Moscow : Yurayt. 2017. – 338 p. (in Russian).

- [6] STO 1.1.1.01.007.0281-2010. Upravlenie resursny`mi xarakteristikami e`lementov e`nergoblokov atomny`x stancij. OAO «Koncern Rose`nergoatom» [STO 1.1.1.01.007.0281-2010. Management of Resource Characteristics of Power Unit Elements of Nuclear Power Plants. «Concern Rosenergoatom» JSC]. Moscow. 2010. URL : [https://standartgost.ru/g/pkey-14293819162/%D0%A1%D0%A2%D0%9E\\_1.1.1.01.007.0281-2010](https://standartgost.ru/g/pkey-14293819162/%D0%A1%D0%A2%D0%9E_1.1.1.01.007.0281-2010) (in Russian).
- [7] STO 1.1.1.01.0069-2017. Pravila organizacii texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sistem i oborudovaniya atomny`x stancij / OAO «Koncern Rose`nergoatom» [STO 1.1.1.01.0069-2017. Organization Rules of Maintenance and Repair of Systems and Equipment of «Concern Rosenergoatom» nuclear power plants]. Moscow. 2017. URL : <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/376/37644e5aa93eec0702537d60b9511e84.pdf> (in Russian).
- [8] Sahnikov A.A. Prognozirovanie i predotvrashhenie texnologicheskix narushenij e`kspluatacii oborudovaniya AE`S: avtoreferat dissertacii kandidata texnicheskix nauk [Forecasting and Prevention of Technological Breakdowns in the Operation of Nuclear Power Plant Equipment: thesis abstract of PhD in Engineering]. Volgodonsk. 2016. 25 p. (in Russian).
- [9] RD 26.260.004-91. Prognozirovanie ostatochnogo resursa oborudovaniya po izmeneniyu parametrov ego texnicheskogo sostoyaniya pri e`kspluatacii [RD 26.260.004-91. Prediction of Residual Life of the Equipment to Change the Parameters of its Technical Condition during Operation]. Moscow: NIIXIMMASH. 1992. 50 p. URL : <https://files.stroyinf.ru/Data1/9/9239/> (in Russian).
- [10] Doroxov A.N., Kernozhiczkiy V.A., Mironov A.N. Obespechenie nadezhnosti slozhny`x texnicheskix sistem [Ensuring the Reliability of Complex Technical Systems]. Moscow: Lan. 2017. 352 p. (in Russian).
- [11] Stelmashonok E.V. Modelirovanie processov i sistem [Modeling of Processes and Systems]. Moscow. Yurajt. 2017. 289 p. (in Russian).
- [12] Alpatov Yu.N., Spirina T.S. Matematicheskoe modelirovanie proizvodstvenny`x processov [Mathematical Modeling of Production Processes]. Moscow: Lan. 2018. 136 p. (in Russian).

### **Automation of Collection and Processing of Equipment Diagnostic Parameters of New NPP Units**

**Z.O. Kavrishvili<sup>1</sup>, V.L. Rachkov<sup>2</sup>**

*Rostov branch «Rostovatomtekhenergo» of JSC «Atomtekhenergo», Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388*

<sup>1</sup>*ORCID ID: 0000-0002-9185-0785*

*e-mail: zokavrishvili@roate.ru*

<sup>2</sup>*ORCID ID: 0000-0003-3710-3153*

*e-mail: vlrachkov@roate.ru*

**Abstract** – Modern technical diagnostics allows to inspect equipment by numerous methods of non-destructive control, which complement each other and increase the veracity of the technical condition grade. The combination of large quantity of diagnostic data and different diagnostic methods go to the need to integrate diagnostic information streams in a single information system which automates the collection and processing of diagnostic parameters. The specialists of “Rostovatomtekhenergo” designed and implemented the information system with the necessary properties.

**Keywords:** automated system, diagnostic parameters, equipment diagnostics, equipment of NPP power units.