

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Международный научно-практический журнал «Вестник МИРБИС» ISSN 2411-5703 <http://journal-mirbis.ru/>  
№ 1 (21) 2020, DOI: 10.25634/MIRBIS.2020.1

**Ссылка для цитирования:** Грабчак Е. П., Логинов Е. Л., Мищеряков С. В. Цифровая трансформация систем управления ТЭС: переход к интеллектуальной модели управления жизненным циклом энергетического оборудования // Вестник МИРБИС. 2020. № 1 (21). С. 76–83. DOI: 10.25634/MIRBIS.2020.1.9

Дата поступления 01.02.2020 г.

УДК 658

*Евгений Грабчак<sup>1</sup>, Евгений Логинов<sup>2</sup>, Сергей Мищеряков<sup>3</sup>*

### ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЭС: ПЕРЕХОД К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Аннотация.** В статье рассматривается интеллектуальная информационно-аналитическая технология, реализуемая в процессах эксплуатации тепловых электрических станций, основанная на возможностях мультиагентного анализа состояния каждого элемента энергетического оборудования в единой стандартизированной цифровой модели ТЭС, когда система заранее сигнализирует о необходимости ремонта энергетического оборудования. Анализ включает изучение показателей, характеризующих техническое состояние функциональных узлов энергетического оборудования (с использованием расчетных моделей планирования режима работы ТЭС) с внедрением виртуальной модели управления жизненным циклом энергетического оборудования для определения оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование. При этом, предлагается использовать систему единых стандартов, единую стандартизированную модель, единые подходы к идентификации, основанные на единой онтологической модели предметной деятельности для перехода от планово-предупредительных ремонтных работ в отношении энергетического оборудования объектов к ремонтам по техническому состоянию с возможностью формирования сценариев технических воздействий на это оборудование (агентное моделирование управляемого событиями поведения): продолжения эксплуатации, осуществления ремонта, замены, модернизации или реконструкции.

В статье представлены подходы к формированию технологии мониторинга обеспечивает построение унифицированных систем учета энергетического оборудования, эксплуатируемого в электро- и теплоэнергетических системах, улучшения их технологических параметров и характеристик в отношении оценки и прогноза технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов для определения оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование, позволяющее направлять поток событий согласно условиям, заданным наличием финансовых средств на эти цели.

При этом осуществляется автоматизированный анализ индексов технического состояния каждой единицы (узла) энергетического оборудования и формирование сценариев технических воздействий на это оборудование (агентное моделирование управляемого событиями поведения).

**Ключевые слова:** тепловые электрические станции, оборудование, жизненный цикл, цифровая модель, цифровые двойники, мониторинг.

*JEL: L51*

**1 Грабчак Евгений Петрович** — кандидат экономических наук, заместитель министра. Министерство энергетики РФ. Москва, Россия.

E-mail: [Grabchak.eugene@gmail.com](mailto:Grabchak.eugene@gmail.com). ORCID: 0000-0003-3373-8696; AuthorID 987468.

**2 Логинов Евгений Леонидович** — доктор экономических наук, профессор РАН, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, заместитель директора Института экономических стратегий, начальник службы Ситуационно-аналитического центра Минэнерго России. Институт экономических стратегий, Москва, Россия. E-mail: [evgenloginov@gmail.com](mailto:evgenloginov@gmail.com). ORCID: 0000-0001-8487-0692; AuthorID 185486.

**3 Мищеряков Сергей Васильевич** — доктор экономических наук, генеральный директор. Корпоративный образовательный и научный центр ЕЭС им. А. Ф. Дьякова (НП «КОНЦ ЕЭС»). Москва, Россия. E-mail: [msv@keu-ees.ru](mailto:msv@keu-ees.ru). ORCID: 0000-0003-3460-6257; AuthorID 714777.

#### Введение

В Российской энергетике в связи с цифровыми трендами трансформации информационных систем управления все большую востребованность получают интеллектуальные информаци-

онно-аналитические технологии, реализуемые в процессах эксплуатации тепловых электрических станций (ТЭС) [Костюков, Тарасов, Путинцев, 2015; Логинов, Борталевич, Шкута, 2017]. Актуализируется построение современных цифровых

систем учета энергетического оборудования, эксплуатируемого в электро- и теплоэнергетических системах, оптимизации их технологических параметров и характеристик [Круг, Новиков, 2012; Мищеряков, 2018]. Это особенно важно, прежде всего, в отношении мониторинга технического состояния энергетического оборудования тепловых электрических станций, которое существенно изношено и выработало нормативные сроки эксплуатации [Албул и др., 2013; Римов, 2018].

Несмотря большое количество новых разработок в этой сфере, наблюдается потребность в новых технологиях мониторинга технического состояния энергетического оборудования ТЭС для перехода от плано-предупредительных ремонтных работ в отношении энергетического оборудования объектов к ремонтам по техническому состоянию [Кондратьева и др., 2019; Логинов и др., 2017]. Старение и изношенность энергетического оборудования ТЭС определяют потребность прогнозировании оптимальности технических воздействий на это оборудование: продолжения эксплуатации, осуществления ремонта, замены, модернизации или реконструкции с учетом протекания деградационных процессов в массиве энергетического оборудования.

#### **Создание цифровой среды управления с поддержкой риск-ориентированного управления на базе цифровых технологий**

Для определения оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование, позволяющее направлять поток событий согласно условиям, заданным наличием финансовых средств на эти цели, целесообразно использовать расчетные модели планирования режима работы ТЭС на основе мониторинга и анализа состояния каждого элемента энергетического оборудования в единой стандартизированной цифровой модели ТЭС с верификацией модели для уточнения ее соответствия событиям в реальной среде [Грабчак, 2018].

Предлагается создание, своего рода, цифровой среды управления, с опорой на технологии риск-менеджмента на базе цифровых технологий для оценки технического состояния энергетического оборудования тепловых электрических станций с использованием цифровых двойников технических систем, процессов, изделий, объектов для определения оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование на всех стадиях его эксплуатации. При этом эксплуатация энергетического оборудования с использованием расчетных моделей пла-

нирования режима работы ТЭС (с планированием будущих синхронизационных операций, прогнозированием для устранения причин их задержки) на основе мониторинга и анализа состояния каждого элемента энергетического оборудования в единой стандартизированной цифровой модели ТЭС рассматривается авторами как динамическая совокупность текущего и капитального ремонта с учетом различных категорий показателей надежности и рабочего ресурса энергетического оборудования, выделяемых по признаку прямого или опосредованного участия в снижении потока отказов, интенсивности отказов и увеличении срока безаварийной эксплуатации.

Для контроля процессов эксплуатации энергетического оборудования в системе мониторинга технического состояния энергетического оборудования тепловых электрических станций с внедрением виртуальной модели управления жизненным циклом энергетического оборудования, когда система заранее сигнализирует о необходимости ремонта энергетического оборудования, предлагается использовать технологии агентного анализа и моделирования.

Необходимо налаживание анализа показателей надежности и рабочего ресурса энергетического оборудования для перехода от плано-предупредительных ремонтных работ в отношении энергетического оборудования объектов к ремонтам по техническому состоянию (с тестированием стратегий технического обслуживания), которые требуют прогнозирования уровня износа энергетического оборудования и вероятности наступления отказов (ориентированный граф с вершинами — состояниями и псевдосостояниями энергетического оборудования) [Гаврилюк, Манцеров, 2018; Секретарев, Мехтиев, 2015].

Для этого анализируется техническое состояние функциональных узлов энергетического оборудования тепловых электрических станций (на базе виртуальной модели управления жизненным циклом энергетического оборудования с учетом протекания деградационных процессов в массиве энергетического оборудования) с использованием единых стандартов, единую стандартизированную модели, единых подходов к идентификации, основанных на единой онтологической модели предметной деятельности с опорой на технологии риск-менеджмента на базе цифровых технологий.

На этой основе предполагается при контроле и мониторинге состояния каждого элемента энергетического оборудования в единой стан-

дартизированной цифровой модели ТЭС с верификацией модели для уточнения ее соответствия событиям в реальной среде — в рамках расчетных моделей планирования режима работы ТЭС — программное определение соответствующего целевым установкам индекса технического состояния энергетического оборудования для предотвращения ситуаций с неисполнением либо ненадлежащим исполнением ремонта. То есть необходим анализ и идентификация отказов и их последствий, интенсивности отказов для увеличения срока безаварийной эксплуатации на основе использования индекса технического состояния энергетического оборудования, направленных на определение оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование, позволяющее направлять поток событий согласно условиям, заданным наличием финансовых средств на эти цели, с учетом показателей надежности и рабочего ресурса энергетического оборудования.

#### **Структура описания анализируемых данных**

Описания структурированных баз данных технического состояния энергетического оборудования, с опорой на технологии риск-менеджмента на базе цифровых технологий, представляются стандартизованным образом и содержат данные о результатах эксплуатации энергетического оборудования в системе технического состояния энергетического оборудования тепловых электрических станций. Сквозная цифровизация создает базу для построения унифицированных систем учета энергетического оборудования, эксплуатируемого в электро- и теплоэнергетических системах, мониторинга их технологических параметров и характеристик.

Идентификация, задание структуры информации в базе данных является одной из составных частей онтологического моделирования. Она предполагает наличие набора терминов (TBox — от Terminology Box), набора утверждений (ABox — от Assertion Box), т. е. значения конкретных свойств для конкретных индивидуальных объектов, конкретные связи между ними (эта часть модели описывает конкретные факты).

Пятнадцатого ноября 2019 г. в России приняты ГОСТ Р 58651.1 — 15.11.2019 «Информационная модель электроэнергетики. Основные положения» и ГОСТ Р 58651.2 — 15.11.2019 «Информационная модель электроэнергетики. Базисный профиль информационной модели», которые определяют требования к профилям информацион-

ных моделей и организации информационного обмена в электроэнергетике и устанавливают состав информационной модели для обеспечения однозначной интерпретации передаваемых и получаемых данных всеми участниками информационного обмена в электроэнергетике. Принятие ГОСТов дает дополнительный импульс работам по разработке единых отраслевых классификаторов основного технологического энергетического оборудования, формирования единой информационной модели электроэнергетики.

Динамика потока отказов, интенсивности отказов на основе мониторинга и анализа состояния каждого элемента энергетического оборудования в единой стандартизированной цифровой модели ТЭС изучается с использованием специального уникального кода, виртуально прикрепляемого к единице энергетического оборудования (группе).

Описания идентифицируемых параметров потока отказов, интенсивности отказов, связанных с исполнением расчетных моделей планирования режима работы ТЭС, одного типа группируются в виртуальные информационные блоки данных по эксплуатации энергетического оборудования в системе технического состояния энергетического оборудования ТЭС с учетом характеристик жизненного цикла энергетического оборудования.

При этом создается возможность анализа разноплановых технико-экономических данных получаемых из различных информационных источников для определения оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование с использованием единых стандартов, единую стандартизованной модели, единых подходов к идентификации, основанных на единой онтологической модели предметной деятельности.

На этой основе осуществляется выход на формирование сценариев технических воздействий на это оборудование (агентное моделирование управляемого событиями поведения): продолжения эксплуатации, осуществления ремонта, замены, модернизации или реконструкции с учетом протекания деградиционных процессов в массиве энергетического оборудования, где анализ параметров процессов эксплуатации, позволяет проанализировать движение пакетов ресурсов, выделить тенденцию изменения группы показателей надежности и рабочего ресурса энергетического оборудования и их характеристики для выработки управляющих рекомендаций в рамках

интерактивной коммуникации энергокомпаний и контролирующих ведомств.

Систематика показателей надежности и рабочего ресурса энергетического оборудования представляется в ходе анализа обычной и аварийной эксплуатационной динамики для перехода от плано-предупредительных ремонтных работ в отношении энергетического оборудования объектов к ремонтам по техническому состоянию (с тестированием стратегий технического обслуживания), которые требуют корректировки исходя из прогнозирования уровня износа энергетического оборудования и вероятности наступления отказов (ориентированный граф с вершинами — состояниями и псевдосостояниями энергетического оборудования), то есть оценки и прогноза технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов. Операторы мониторинга при анализе потока отказов, интенсивности отказов, использующие цифровые двойники технических систем, процессов, изделий, объектов, могут выделить генезис (первопричину) событий на основе выявления явных и неявных причинно-следственных зависимостей в режиме оценки и прогноза технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов в отношении каждого элемента энергетического оборудования в единой стандартизированной цифровой модели ТЭС с верификацией модели для уточнения ее соответствия событиям в реальной среде.

#### **Определение ресурсоэффективности текущего и капитального ремонта**

Кластеризуемые показатели технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов определяются в ходе контроля обычной и аварийной эксплуатационной динамики с выходом на показатели ресурсоэффективности текущего и капитального ремонта с расширением спектра любых доступных для анализа показателей надежности и рабочего ресурса энергетического оборудования. Выбранный оператором мониторинга пакет данных по оценке и прогнозу технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов несет информацию о ресурсоэффективности текущего и капитального ремонта во временной и объектно-параметрической динамике.

Классификация, то есть включение каждого объекта в один или несколько классов, кластеров является неотъемлемой составляющей онтологического моделирования. Термин «класс» в информационных моделях означает некий символ (информационный сигнал), который используется для общего обозначения какой-либо совокупности объектов. Концептуализация в моделях, и классификация — в информационных системах нужны для того, чтобы получить возможность формулировать знания и строить логические выводы в частности по ресурсоэффективности технических воздействий.

Вычисляемые интерпретации ресурсоэффективности текущего и капитального ремонта на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов позволяют определить оптимальный вид, состав и стоимость технического воздействия на это оборудование [Секретарев, Мошкин, Мехтиев, 2015; Труханов и др., 2018].

Анализ технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов, идентифицирующих неэффективность конкретной позиции в рамках расчетных моделей планирования режима работы ТЭС, позволяет индивидуализировать характеристики индекса технического состояния конкретной единицы энергетического оборудования с формированием уточняющих условий к реализации текущего и капитального ремонта (с планированием будущих синхронизационных операций, прогнозированием для устранения причин их задержки).

Это также помогает определить соответствие процесса эксплуатации нормативным требованиям [Ефимов и др., 2012; Норицына, 2017]. Результаты анализа позволяют государственным ведомствам выработать рекомендации по корректировке программ текущего и капитального ремонта ТЭС с учетом тарифно-ценовой и ресурсной динамики в отношении производства и реализации электроэнергии и тепла [Оклей, 2016; Черезов, Грабчак, 2016].

Таким образом, для снижения потока отказов, интенсивности отказов и увеличения срока безаварийной эксплуатации энергетического оборудования ТЭС предлагается способ интеллектуального анализа для оценки и прогноза технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов с использованием многоаспектной интерпретации систематики показателей надежности и рабочего ресурса энер-



гетического оборудования с использованием цифровых двойников технических систем, процессов, изделий, объектов.

### Заключение

Предлагаемая технология мониторинга обеспечивает построение унифицированных систем учета энергетического оборудования, эксплуатируемого в электро- и теплоэнергетических системах, улучшения их технологических параметров и характеристик в отношении оценки и прогноза технического состояния производственного энергетического оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов для определения оптимального вида, стоимости и сроков технического воздействия на это оборудование, позволяющее направлять поток событий соглас-

но условиям, заданным наличием финансовых средств на эти цели. Осуществляется автоматизированный анализ индексов технического состояния каждой единицы (узла) энергетического оборудования и формирование сценариев технических воздействий на это оборудование (агентное моделирование управляемого событиями поведения): продолжения эксплуатации, осуществления ремонта, замены, модернизации или реконструкции (с планированием будущих синхронизационных операций, прогнозированием для устранения причин их задержки) с заданием базовых характеристик, когда система заранее сигнализирует о необходимости ремонта энергетического оборудования, с использованием расчетных моделей планирования режима работы ТЭС.

### Список источников

- Албул В. П. и др. Анализ показателей работы ТЭС / В. П. Албул, С. В. Дроздов, Т. А. Степанова, В. А. Тумановский, Н. В. Винниченко // Информационные ресурсы России. 2013. № 2 (132). С. 2–6.
- Гаврилюк Е. А., Манцеров Б. А. Управление техническим состоянием сложных систем на основе нечеткой модели // Автоматизация процессов управления. 2018. № 1 (51). С. 91–98.
- Грбачак Е. П. Концептуальный подход к внедрению в отрасли рискориентированной системы мониторинга и оценки готовности субъектов энергетики к работе в отопительный сезон // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 3 (48). С. 4–10.
- Ефимов А. В. и др. Применение методов интервальной статистики для диагностики технического состояния энергетического оборудования и планирования продолжительности ремонтов энергоблоков ТЭС и АЭС / А. В. Ефимов, Т. В. Потанина, В. Л. Каверцев, Т. А. Гаркуша, Т. А. Есипенко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. № 6 (100). С. 20–26.
- Кондратьева О. Е. и др. Разработка методики оценки затрат при переходе на наилучшие доступные технологии энергетической отрасли / О. Е. Кондратьева, П. В. Росляков, Д. О. Скобелев, Т. В. Гусева, О. А. Локтионов, М. Аке // Теплоэнергетика. 2019. № 7. С. 68–76. DOI: [10.1134/S0040363619070051](https://doi.org/10.1134/S0040363619070051)
- Костюков В. Н., Тарасов Е. В., Путинцев С. Л. Мониторинг безопасной эксплуатации энергетического оборудования ТЭС // Новое в российской электроэнергетике. 2015. № 2. С. 6–13.
- Круг П. Г., Новиков Д. Б. Функциональная структура АСУТП тепловой электрической станции // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012. № 3. С. 1–6.
- Логинов Е. Л. и др. Сетевое управление объектами атомного энергопромышленного комплекса России как многоагентной системы с большим числом квази-автономных организационных и технических элементов с собственными управленческими траекториями / Е. Л. Логинов, С. И. Борталевич, А. В. Баитов, В. Ю. Борталевич // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2017. № 1. С. 112–119.
- Логинов Е. Л., Борталевич С. И., Шкута А. А. Развитие интеллектуальных сервисов в автоматизированных информационных системах управления энергетической инфраструктуры. Москва: ИПР РАН, 2017. 95 с.
- Мищеряков С. В. Цифровая оценка надежности производственной системы субъектов энергетики // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 2. С. 109–116.
- Норицына И. Ю. Прогнозирование оценки технического состояния электроэнергетического оборудования // Системы компьютерной математики и их приложения. 2017. № 18. С. 107–109.
- Оклеп П. И. Принципы формирования информационной базы системы управления производственными активами тепловой электростанции // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Серия: Социально-экономические науки. 2016. № 1. С. 26–41.

*Римов А. А.* Методические аспекты оценки и прогноза технического состояния основного установленного энергетического оборудования электростанций // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 2. С. 134–142.

*Секретарев Ю. А., Мехтиев А. Д.* Оценка ремонтно-восстановительных работ на основе мониторинга случайного процесса эксплуатации основного энергетического оборудования станции // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2015. № 5. С. 49–52.

*Секретарев Ю. А., Мошкин Б. Н., Мехтиев А. Д.* Корреляционно-регрессионный анализ составляющих себестоимости производства энергии на тепловых электрических станциях // Бизнес. Образование. Право. 2015. № 2 (31). С. 47–51.

*Труханов В. М. и др.* Математическая модель прогнозирования отказов статистическим методом при испытаниях головных образцов энергетического оборудования ТЭС / В. М. Труханов, М. М. Султанов, М. П. Кухтик, Ю. А. Горбань // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 3. С. 235–240.

*Черезов А. В., Грабчак Е. П.* Зарубежный опыт нормативно-правового регулирования обеспечения надежности в электроэнергетике // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 2 (33). С. 2–8.

## DIGITALIZATION AND MANAGEMENT

*Evgeny Grabchak<sup>1</sup>, Evgeny Loginov<sup>2</sup>, Sergey Mischeryakov<sup>3</sup>,*

### DIGITAL TRANSFORMATION OF THERMAL POWER STATION CONTROL SYSTEMS: TRANSITION TO THE INTELLECTUAL MODEL OF POWER EQUIPMENT LIFE CYCLE MANAGEMENT

**Abstract.** The article discusses the intelligent information-analytical technology implemented in the operation processes of thermal power plants, based on the capabilities of multi-agent analysis of the state of each element of power equipment in a single standardized digital model of thermal power plants, when the system signals in advance about the need to repair power equipment. The analysis includes the study of indicators characterizing the technical condition of the functional units of power equipment (using calculation models for planning the operating mode of TPPs) with the introduction of a virtual model for managing the life cycle of power equipment to determine the optimal type, cost and timing of the technical impact on this equipment. At the same time, it is proposed to use a system of uniform standards, a unified standardized model, unified approaches to identification, based on a unified ontological model of subject activity for the transition from scheduled preventive maintenance work in relation to the power equipment of facilities to technical repairs with the possibility of creating scenarios of technical impacts on this equipment (agent-based modeling of event-driven behavior): continued operation, repair, replacement, modernization or reconstruction.

The article presents approaches to the formation of monitoring technology that provides the construction of unified accounting systems for power equipment operated in electric and heat power systems, improving their technological parameters and characteristics with respect to assessing and forecasting the technical condition of production power equipment based on monitoring data, statistics of defects and failures for determining the optimal type, cost and terms of technical impact on this equipment, to direct the flow of events-governing in accordance with the conditions specified by the presence of funds for these purposes.

In this case, an automated analysis of the indices of the technical state of each unit (node) of energy equipment and the formation of scenarios of technical impacts on this equipment (agent-based modeling of event-driven behavior) are performed.

**Key words:** thermal power plants, equipment, life cycle, digital model, digital doubles, monitoring.

*JEL: L51*

1 **Grabchak Evgeny Petrovich** – Candidate of Sci. (Econ.), deputy minister. Ministry of Energy of the Russian Federation. Moscow, Russia. E-mail: [Grabchak.eugene@gmail.com](mailto:Grabchak.eugene@gmail.com). ORCID: 0000-0003-3373-8696; AuthorID 987468.

2 **Loginov Evgeny Leonidovich** – Doctor of Sci. (Econ.), Professor of the Russian Academy of Sciences. Institute of Economic Strategies, Moscow, Russia. E-mail: [evgenloginov@gmail.com](mailto:evgenloginov@gmail.com). ORCID: 0000-0001-8487-0692; AuthorID 185486.

3 **Mischeryakov Sergey Vasilievich** – Doctor of Sci. (Econ.), General Director of NP "CTSCenter UES". Moscow, Russia. E-mail: [msv@keu-ees.ru](mailto:msv@keu-ees.ru). ORCID: 0000-0003-3460-6257; AuthorID 714777.

### References

Albul V. P. et al. Analiz pokazateley raboty TES [Analysis of TPP performance indicators] / V. P. Albul, S. V. Drozdov, T. A. Stepanova, V. A. Tumanovskiy, N. V. Vinnichenko. *Informatsionnyye resursy Rossii* [Russian Information Resources]. 2013. No. 2 (132). P. 2–6 (in Russian).

Gavrilyuk Ye. A., Mantserov B. A. Upravleniye tekhnicheskim sostoyaniyem slozhnykh sistem na osnove nechetkoy modeli [Management of the technical condition of complex systems based on a fuzzy model]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya = Automation of control processes*. 2018. No 1 (51). P. 91–98 (in Russian).

Grabchak Ye. P. Kontseptual'nyy podkhod k vnedreniyu v otrasli riskoriyentirovannoy sistemy monitoringa i otsenki gotovnosti sub'yektov energetiki k rabote v otopitel'nyy sezon [A conceptual approach to the introduction of a risk-based system in the industry for monitoring and assessing the readiness of energy entities to work in the heating season]. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye* [Electricity. Transmission and distribution]. 2018. No. 3 (48). P. 4–10 (in Russian).

Efimov A. V. et al. Primeneniye metodov interval'noy statistiki dlya diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya energeticheskogo oborudovaniya i planirovaniya prodolzhitel'nosti remontov energoblokov TES i AES [Application of interval statistics methods for diagnosing the technical condition of power equipment and planning the duration of repairs of power units of thermal power plants and nuclear power plants]. A. V. Yefimov, T. V. Potanina, V. L. Kavertsev, T. A. Garkusha, T. A. Yesipenko. *Energoberezheniye. Energetika. Energoaudit* [Energy Saving. Energy. Energy audit]. 2012. No. 6 (100). P. 20–26 (in Russian).

Kondratyeva O. E. et al. Razrabotka metodiki otsenki zatrat pri perekhode na nailuchshiy dostupnyye tekhnologii energeticheskoy otrasli [Development of a methodology for estimating costs in the transition to the best available

technologies in the energy industry]. O. Ye. Kondrat'yeva, P.V. Roslyakov, D. O. Skobelev, T. V. Guseva, O. A. Loktionov, M. Åke. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2019. No. 7. P. 68–76. DOI: [10.1134/S0040363619070051](https://doi.org/10.1134/S0040363619070051) (in Russian).

Kostyukov V. N., Tarasov Ye. V., Putintsev S. L. Monitoring bezopasnoy ekspluatatsii energeticheskogo oborudovaniya TES [Monitoring of safe operation of power equipment of thermal power plants]. *Novoye v rossiyskoy elektroenergetike* [New in the Russian electric power industry]. 2015. No. 2. P. 6–13 (in Russian).

Krug P. G., Novikov D. B. Funktsional'naya struktura ASUTP teplovoy elektricheskoy stantsii [The functional structure of process control systems of a thermal power plant]. *Promyshlennyye ASU i kontrolyery = Industrial Automatic Control Systems and Controllers*. 2012. No. 3. P. 1–6 (in Russian).

Loginov E. L. et al. Setetsentricheskoye upravleniye ob'yektami atomnogo energopromyshlennogo kompleksa Rossii kak mnogoagentnoy sistemy s bol'shim chislom kvazi-avtonomnykh organizatsionnykh i tekhnicheskikh elementov s sobstvennymi upravlencheskimi trayektoriyami [Network-centric management of facilities of the atomic energy industry of Russia as a multi-agent system with a large number of quasi-autonomous organizational and technical elements with their own management trajectories]. Ye. L. Loginov, S. I. Bortalevich, A. V. Baitov, V. Yu. Bortalevich. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy = Safety and emergencies situations problems*. 2017. No. 1. P. 112–119 (in Russian).

Loginov Ye. L., Bortalevich S. I., Shkuta A. A. Razvitiye intellektual'nykh servisov v avtomatizirovannykh informatsionnykh sistemakh upravleniya energeticheskoy infrastruktury [Development of intelligent services in automated information systems for managing energy infrastructure]. Moscow: IPR RAS Publ., 2017. 95 p. (in Russian).

Mishcheryakov S. V. Tsifrovaya otsenka nadezhnosti proizvodstvennoy sistemy sub'yektov energetiki [Digital assessment of the reliability of the production system of energy entities]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry*. 2018. Vol. 11. No. 2. P. 109–116 (in Russian).

Noritsyna I. Yu. Prognozirovaniye otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya elektroenergeticheskogo oborudovaniya [Forecasting the assessment of the technical condition of electric power equipment]. *Sistemy komp'yuternoy matematiki i ikh prilozheniya* [Computer Mathematics Systems and Their Applications]. 2017. No 18. P. 107–109 (in Russian).

Okley P. I. Printsipy formirovaniya informatsionnoy bazy sistemy upravleniya proizvodstvennymi aktivami teplovoy elektrostantsii [Principles of Forming the Information Base for the Production Asset Management System of a Thermal Power Plant]. *Vestnik Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Novocherkasskogo politekhnicheskogo instituta)* [Bulletin of the South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute). Series: Socio-economic sciences]. 2016. No. 1. P. 26–41 (in Russian).

Rimov A. A. Metodicheskiye aspekty otsenki i prognoza tekhnicheskogo sostoyaniya osnovnogo ustanovlennogo energeticheskogo oborudovaniya elektrostantsiy [Methodological aspects of the assessment and forecast of the technical condition of the main installed power equipment of power plants]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry*. 2018. Vol. 11. No. 2. P. 134–142 (in Russian).

Sekretarev Yu. A., Mehdiyev A. D. Otsenka remontno-vosstanovitel'nykh rabot na osnove monitoringa sluchaynogo protsessa ekspluatatsii osnovnogo energeticheskogo oborudovaniya stantsii [Evaluation of repair work based on monitoring the random operation process of the main power equipment of the station]. *Elektro. Electrical engineering, electric power industry, electrical industry* [Elektro. Electrical engineering, electric power industry, electrical industry]. 2015. No. 5. P. 49–52 (in Russian).

Sekretarev Yu. A., Mekhtiyev A. D. Korrelyatsionno-regressionnyy analiz sostavlyayushchikh sebestoimosti proizvodstva energii na teplovykh elektricheskikh stantsiyakh [Correlation and regression analysis of the components of the cost of energy production at thermal power plants]. *Biznes. Obrazovaniye. Pravo = Business. Education. Law*. 2015. No. 2 (31). P. 47–51 (in Russian).

Trukhanov V. M. et al. Matematicheskaya model' prognozirovaniya otkazov statisticheskim metodom pri ispytaniyakh golovnykh obraztsov energeticheskogo energeticheskogo oborudovaniya TES [Mathematical Model for Failure Prediction by Statistical Method during Tests of Head Samples of Power Energy Equipment of Thermal Power Plants]. V. M. Trukhanov, M. M. Sultanov, M. P. Kukhtik, YU. A. Gorban'. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry*. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 235–240 (in Russian).

Cherezov A. V., Grabchak Ye. P. Zarubezhnyy opyt normativno-pravovogo regulirovaniya obespecheniya nadezhnosti v elektroenergetike [Foreign experience in legal regulation of ensuring reliability in the electric power industry]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry*. 2016. No. 2 (33). P. 2–8 (in Russian).