

# ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На правах дискуссии

## АВТОРЫ:

А.В. ГЛОТОВ,  
АО «МОБИЛЬНЫЕ ГТЭС»

С.В. ЧЕРЕМИСИНОВ,  
АО «МОБИЛЬНЫЕ ГТЭС»

М.В. ЩЕРБАКОВ  
ФГБОУ ВО  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Т**ехническая эксплуатация электрооборудования представляет собой целый комплекс мероприятий, проводимый обслуживающим персоналом, обеспечивающий надежное функционирование оборудования в строгом соответствии

с установленными технико-экономическими показателями. Такие мероприятия включают в себя управление технологическими процессами работы машин и аппаратов и регулярное техническое обслуживание и ремонт оборудования.



Мобильная ГТЭС  
в Новороссийске

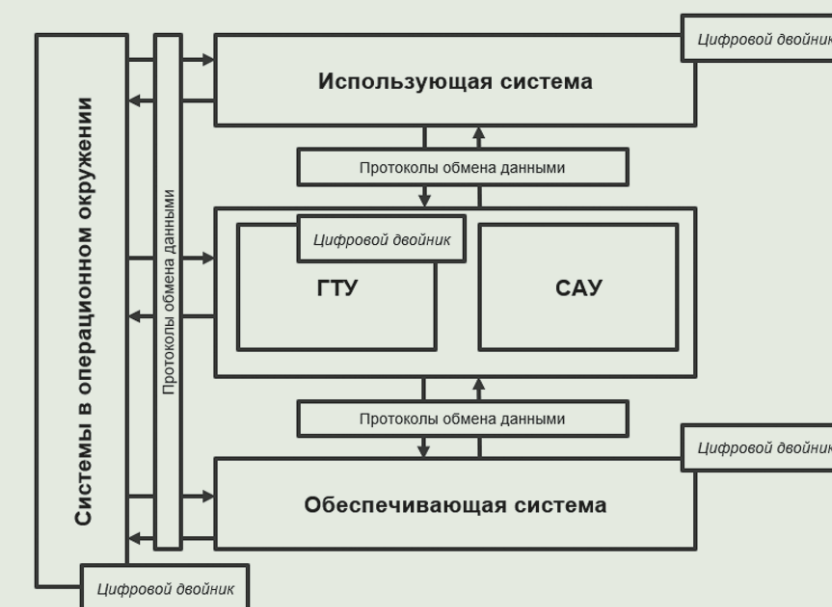
## ВВЕДЕНИЕ

В 2015 г. на международном экономическом форуме была объявлена инициатива цифровой трансформации (Digital Transformation Initiative, DTI), рассматривающая принципиально новые возможности для индустрии и бизнеса, связанные с использованием цифровых технологий. Цифровая трансформация экономики отраслей является логичным этапом развития мирового сообщества из-за развития и удешевления систем сбора, передачи и хранения разнородных данных. Позже были разработаны национальные программы цифровой трансформации, или цифровой экономики, например в России — это национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р), в Голландии «Dutch Digitalisation Strategy», в Германии «The Digital Strategy of the German government» и т. д.

Отчеты ведущих аналитических агентств и рост числа публикаций в области цифровой трансформации, с одной стороны, подтверждают целесообразность применения подходов, основанных на данных, а с другой стороны, отмечают сдержанность в процессе внедрения цифровизации [1, 2]. В частности, в отчете «Цифровая трансформация в России 2018» [3] выделены отрасли как прогрессивные в части цифровизации, так и отрасли наиболее консервативные. К последним относятся отрасли, либо бюджетобразующие, либо критичные к вопросам надежности.

Для повышения надежности энергетических объектов и решения задач цифровизации электроэнергетической отрасли инициировано создание ведомственной программы «Единая техническая политика — надежность электроснабжения» [4] в рамках реализации программы

## СИСТЕМНАЯ СХЕМА



Включает описание: целевой системы (ЦС) в зависимости от уровня представления (в данном случае ГТУ и САУ); использующей системы (ИС) — внешней по отношению к ЦС, определяющей целевые выходные характеристики и режимы функционирования; обеспечивающей системы — внешней к ЦС, определяющей и реализующей технические воздействия, необходимые для функционирования ЦС; систем в операционном окружении — внешних по отношению к ЦС, влияющих на функционирование систем (погодные факторы, тип топлива, тип смазочных материалов, температура внешней среды, и др.).

Рис. 1

«Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 г. № 1632-р), Государственной программы РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики» (утверждена постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 321), федерального проекта «Гарантированное обеспечение доступной электроэнергией» и ведомственного проекта «Цифровая энергетика». Одной из важнейших задач ведомственной программы является внедрение риск-ориентированного управления (новых моделей управления), в частности:

- использование работающих в режиме реального времени систем оценки технического состояния

- создание аналитических продуктов для прогнозирования, нахождения, анализа и оценки рисков аварий на объектах электроэнергетики;
- создание системы планирования ремонтов, модернизаций и реконструкций на основе предиктивной аналитики на уровне субъектов электроэнергетики;
- совершенствование системы формирования годовых графиков ремонтов объектов на уровне ЕЭС с учетом фактического технического состояния технологического оборудования и технико-экономических параметров ЕЭС;
- применение дистанционной оценки готовности субъектов к отопительному сезону;

## ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. КОНЦЕПТЫ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ

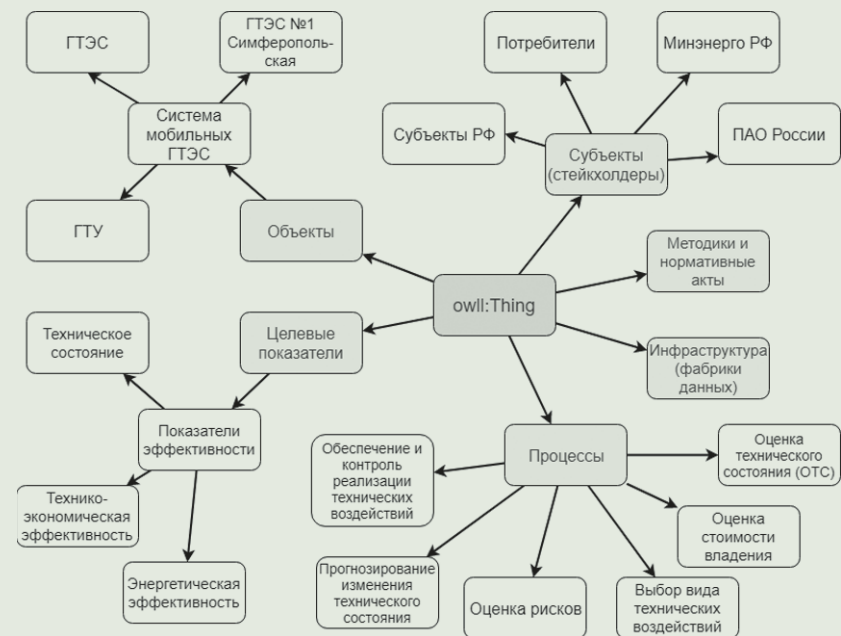


Рис. 2

– создание системы поддержки принятия решений риск-ориентированного ситуационного управления.

Одним из проектов ведомственной программы является проект «Создание системы предиктивного анализа работы генерирующего оборудования», выполняемый на базе АО «Мобильные ГТЭС», в рамках которого разрабатывается пилотная версия интеллектуальной системы предиктивного анализа для обеспечения надежности генерации электроэнергии. Главное направление деятельности АО «Мобильные ГТЭС» — реализация комплексных проектов создания энергетической инфраструктуры и поставка электрической энергии. В настоящее время основной парк мобильного генерирующего оборудования расположен на территории Южного федерального округа. Отличительной особен-

ностью АО «Мобильные ГТЭС» является оснащенность совершенными системами сбора данных о функционировании оборудования и передачи данных по защищенным каналам с приемлемой задержкой, что позволяет делать вывод о целесообразности внедрения систем предиктивного анализа данных с получением эффектов. Для значительного числа объектов малой генерации комплексные решения по предиктивному анализу поставляются производителем оборудования и функционируют по принципу Software-as-a-Service, когда данные передаются в ситуационный центр производителей, там анализируются, а затем формируются предложения по тем или иным техническим воздействиям, например Predix Platform от GE Digital.

С 2014 г. в отношении России введен и продолжает усиливаться

режим экономических и технологических санкций. Учитывая большой объем эксплуатируемого в области критичной (электроэнергетика) инфраструктуры импортного оборудования и задачи, стоящие перед отечественной промышленностью по развитию современных технологий, в том числе в области ИТ, создание отечественных платформенных решений является особенно важным для обеспечения эффективной эксплуатации как имеющихся, так и перспективных образцов оборудования [5]. Помимо этого, внедрение систем риск-ориентированного управления целесообразно и в кросс-отраслевых решениях на объектах транспорта, использующих газотурбинные двигатели.

Исходя из практики разработки систем предиктивного анализа как компонентов систем технического обслуживания, ориентированных на надежность (reliability-centered maintenance, RCM), и прогнозного технического обслуживания (predictive maintenance), первым этапом является формализация предметной области и построение онтологической модели управления техническим состоянием основного технологического оборудования [6, 7]. Результатом формализации является онтологическая модель, отражающая структурные и семантические связи между объектами. В рамках построенной онтологической модели могут быть сформированы требования к системам предиктивного анализа и управления с указанием их влияния на все заинтересованные стороны для эффективного управления активами.

В данной статье представлена онтологическая модель, созданная на основе подходов системной инженерии [8], что позволяет разрабатывать сетевые платформенные решения

интеллектуального управления жизненным циклом энергетического оборудования (интеллектуальные энергетические платформы) с целью повышения надежности при цифровой трансформации отрасли. Следует отметить инвариантный подход к формированию онтологии, что дает возможность применять его к разным классам технологического оборудования в энергетике. Формализованное представление классов оборудования может быть использовано в онтологиях других систем энергетике.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основное оборудование МГТЭС — газовые турбины, установленной мощностью 5 МВт и более. Мобильная газотурбинная электростанция (ГТЭС), модель

MP-25 MOBILEPACT™, предназначена для обеспечения устойчивой работы энергосистемы в часы утреннего и вечернего максимумов нагрузки, во время ремонтов участков сетей, для компенсации перетоков и покрытия пиков нагрузок энергосети путем выработки электрической мощности из энергии горячих газов, полученных при сжигании жидкого топлива и выдачи ее в электрические сети. Газотурбинная установка (ГТУ) серии FT8-3, входящая в состав мобильной установки (Mobile Pac) MP25, состоит из газогенератора GG8-3 и силовой турбины PT8 (также называемой «свободной турбиной»). Кроме вспомогательных систем, в состав ГТЭС входит система автоматического управления (CAV) газотурбиной установки «MicroNet PLUS», осуществляющая сбор технологических параметров с подсистем/блоков управления. На рисунке на стр. 76 представлена

фотография мобильной ГТЭС, размещенной в Новороссийске.

Первым шагом разработки системы предиктивного анализа в рамках риск-ориентированного управления технологическим оборудованием является системный анализ объекта, в результате которого:

1. определяются структурная и функциональная схемы объекта и контекста с выделением функциональных узлов или единиц технологического оборудования, в отношении которых планируется применять подходы риск-ориентированного управления жизненным циклом;
2. дается формальное описание процессов, связанных с управлением жизненным циклом технологического оборудования, включая формирование технических воздействий;

## ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ (КОНЦЕПТЫ) ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Название концепта	Описание класса
Целевые показатели	Родительский класс, предназначен для описания показателей эффективности функционирования энергетических объектов и включает следующие подклассы: класс показателей технического состояния объектов электроэнергетики; класс показателей технико-экономической эффективности объектов электроэнергетики; класс показателей энергетической эффективности объектов электроэнергетики. Свойства: наименование показателя, методика расчета, класс оборудования, для которого показатель применим.
Субъекты (стейкхолдеры)	Концепт включает классы основных заинтересованных сторон (субъектов) в функционировании технологического оборудования. Свойства: наименование субъекта, показатель эффективности, значимый для субъекта.
Объекты	Концепт представляет собой родительский класс основных классов технологического оборудования в соответствии со схемой системной инженерии: целевая система, обеспечивающая система, использующая система, системы в операционном окружении. Свойства: наименование объекта, месторасположение, основные характеристики технологического оборудования, источники данных.
Процессы	Класс является абстракцией для описания главных процессов при риск-ориентированном управлении основным технологическим оборудованием. Подклассы: процесс мониторинга и оценки технического состояния на основе данных; процесс прогнозирования изменения технического состояния; процесс оценки рисков; процесс оценки стоимости владения; процесс разработки сценариев выбора вида технических воздействий.
Инфраструктура (фабрика данных)	Класс, являющийся родителем для компонентов платформы (системы) риск-ориентированного управления (и предиктивной аналитики, в частности). Подклассы: компоненты; источники данных; программные реализации моделей и методов обработки данных; методики предиктивной аналитики; типовые технические решения (конвейеры обработки данных).
Методики	Класс, характеризующий нормативные акты, регламентирующие работу систем риск-ориентированного управления основным технологическим оборудованием. Подклассы соответствуют документам федерального уровня (Минэнерго), документам ПАО «Россети», локальным нормативным документам ДЭО.

Таблица 1

3. определяются источники данных;
4. ставятся задачи предиктивного анализа и прогнозирования наработки на отказ;
5. ставится задача поддержки принятия решений по формированию технических воздействий (плановые работы и их периодичность);
6. определяются требования к интеллектуальной платформе

реализации предиктивного моделирования.

В результате системного анализа необходимо выполнить построение онтологической модели риск-ориентированного управления технологическими объектами. Онтологию определяют как базу знаний специального вида или как «спецификацию концептуализации» предметной области [6]. Формально

онтология произвольной предметной области может быть представлена на кортежем:

$$O = \langle C, A, R, T, F, D \rangle,$$

где  $C$  — набор классов (и подклассов), характеризующих понятия предметной области;  $A$  — набор атрибутов, описывающих особенности понятий и связей;  $R$  — типы связей между понятиями;  $T$  — стандартные типы данных;  $F$  — наборы ограничений для понятий, атрибутов и связей;  $D$  — наборы экземпляров связей.

Построение онтологии должно базироваться на следующих принципах и требованиях:

1. Построение системной схемы энергетического оборудования (на примере оборудования МГТЭС) должно включать высокоуровневое описание субъектов объектов и процессов.
2. Должны быть разделены уровни представления системы: верхний уровень (совокупность ГТЭС), средний уровень (ГТЭС), нижний уровень (генерирующее оборудование, ГТУ).
3. Формирование иерархии концептов и связей между ними в онтологии должно охватывать: концепты целей и ключевых показателей эффективности (показатели технического состояния объектов, показатели энергетической эффективности объектов); концепты субъектов (стейкхолдеров); концепты объектов и контекста; концепты процессов риск-ориентированного управления; концепты системы предсказательного моделирования и концепты методических указаний, а также концепты, регламентирующие использование системы в рамках мето-

## ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. КОНЦЕПТЫ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ

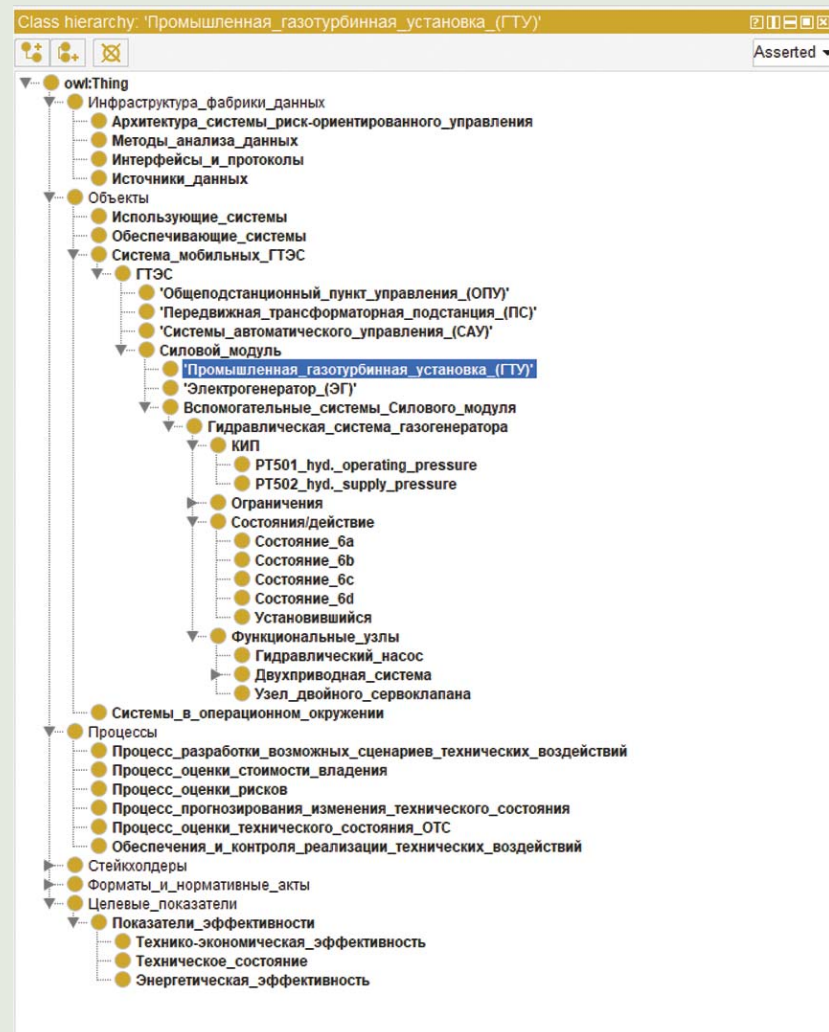


Рис. 3

## ПРИМЕР RDF/XML ОПИСАНИЯ ЭЛЕМЕНТА ОНТОЛОГИИ (ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ)

```

<!--http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#
Гидравлическая_система_газогенератора -->

<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts #Гидравлическая_система_газогенератора">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts #Вспомогательные_системы_Силового_модуля"/>
  </owl:Class>

<!-- http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#IGV_Actuator -->
<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#IGV_Actuator">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#
Двухприводная_система"/>
  </owl:Class>

<!-- http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#
PT501_hyd_operating_pressure -->

<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#
PT501_hyd_operating_pressure">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#КИП"/>
  </owl:Class>

<!-- http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#
PT502_hyd_supply_pressure -->

<owl:Class rdf:about="http://www.semanticweb.org/~ontologies/2019/mobilegts#
PT502_hyd_supply_pressure">

```

Рис. 4

4. Концепты объектов должны рассматриваться в логике системной инженерии 2.0 [8], в рамках которой определяются целевые системы (system-of-interests), использующие системы, обеспечивающие системы и системы в операционном окружении на каждом уровне рассмотрения (см. рис. 1 на с. 77).
5. Необходимо произвести формализацию связей концептов с источниками данных, что фактически определяет требования к источникам данных, моделям предиктивного анализа и тех-

дик формирования технических воздействий [9].

Разработка онтологии базируется на инженерии онтологий, включающей в себя процессные и методологические аспекты. Основные стадии построения онтологий в соответствии с работой Й. Сюра и соавторов [12] таковы: 1) стадия технико-экономического обоснования (feasibility); 2) стадия инициализации (kickoff); 3) стадия уточнения и представления онтологии (refinement and representation of the ontology); 4) стадия оценки (evaluation); 5) стадия применения и развития (application and

evolution). Существуют и другие подходы, но они не противоречат указанной логике.

## ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Так как основной целью построения онтологической модели является формирование требований к системам (платформам) риск-ориентированного управления, были выделены классы (концепты), объединяющие в одном описании субъекты, объекты, процессы и элементы инфраструктуры системы

предиктивного анализа. На рис. 2 на с. 78 отражено верхнеуровневое представление онтологии, построенное в среде Protégé 5.0.

Перечень высокоуровневых концептов представлен в табл. 1 на с. 79. Следует отметить, что отличительным признаком предлагаемой онтологии является включение следующих концептов:

- процессы;
- инфраструктура (фабрика данных);
- методики, регламентирующие процессы управления жизненным циклом технологического оборудования.

Процессы принятия решений о виде технического воздействия на ЦС включают в себя подпроцессы, в со-

ответствии с RCM-методологией и методикой комплексного определения показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики. Следует отметить, что в зависимости от степени зрелости объектов и систем сбора данных содержание процессов может быть различными. В табл. 2 приведено описание процессов и их декомпозиция.

На рис. 3 на с. 80 представлена иерархия классов (для основного технологического оборудования).

Пример RDF/XML описания элемента онтологии представлен на рис. 4 на с. 80.

Описание узлов системы может быть использовано для преобразования в схему хранения данных. Пример та-

кой схемы в формате JSON представлен на рис. 5. Данное представление позволяет уйти от традиционных способов хранения данных (в реляционном формате), что позволит формировать гибкие решения.

Описание концепта «Инфраструктура (фабрика данных)» представлено в табл. 3 на с. 84. Важным условием является объективизация мониторинга (исключение субъективной оценки и ошибок персонала).

В концепте «Источники данных» учитываются следующие объекты и источники данных:

1. Данные использующей системы:
  - объем производства и показатель надежности (значения параметров, влияющие на экономическую эффективность);

## ПРИМЕР JSON-СХЕМЫ ОПИСАНИЯ КОМПОНЕНТ ГТУ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ (EQUIPMENT\_LIST) И ДАТЧИКОВ (INSTRUMENT\_LIST)

```
[{
  "uri": "/support/HYDRAULIC_SYSTEM",
  "id": "1406-XXX-M401D",
  "classification": "/classifications/support/Component",
  "EQUIPMENT_LIST": {
    "EQUIPMENT": {
      "TAG": {
        "type": "string",
        "value": ["ACM_XXX_000"]
      },
      "NAME": {
        "type": "string",
        "value": ["Гидравлический аккумулятор"]
      }
    }
    ...
  }
  "INSTRUMENT_LIST": {
    "INSTRUMENT": {
      "TAG": {
        "type": "string",
        "value": ["WQ_XX_301"]
      },
      "DESCRIPTION": {
        "type": "string",
        "value": ["Датчик давления"]
      }
    }
    ...
  }
}]
```

Рис. 5

- режимы работы ЦС;
  - номинальные (расчетные) режимы производства.
2. Данные целевой системы:
    - данные технического паспорта (конструктивно-технические характеристики);
    - данные онлайн-мониторинга, полученные системой объективного контроля (СОК) о параметрах ГТУ.
  3. Данные обеспечивающей системы:

- данные офлайн-мониторинга, полученные в результате диагностики, контрольных и лабораторных испытаний узлов ГТУ (тепловизионные, инструментальные, триботехнические, эндоскопические, виброакустические и др.);
- данные об эксплуатации ГТУ (различные эксплуатационные события, отказы и неисправности, проводимые мероприятия по техническому воздействию).

4. Данные систем в операционном окружении:
  - данные о физико-химических параметрах среды функционирования ГТУ (тип топлива, тип смазочных материалов, температура внешней среды, и т. п.);
  - данные о факторах внешней среды (температура, локация).

На базе онтологии (в составе концепта «Инфраструктура» (фабрика

## ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Процесс	Подпроцессы
Процесс оценки технического состояния (ОТС)	Сбор и обработка первичных данных о параметрах ЦС, влияющих на оценку технического состояния (функционального узла и единицы оборудования). Расчет индекса технического состояния (ИТС) на основе данных в режиме реального времени. Ранжирование оборудования по ИТС, отражающее важность и первоочередность контроля оборудования.
Процесс прогнозирования изменения технического состояния	Прогноз достижения предельного значения параметра технического состояния на основе методов прогнозирования: 1) наработки на отказ; 2) возникновения дефектов. Расчет вероятности отказа по функциональному узлу или единице оборудования.
Процесс оценки рисков	Оценка ущерба из-за последствий отказа ЦС, функционального узла или единицы оборудования. Оценка риска из-за отказа ЦС, функционального узла или единицы оборудования.
Процесс оценки стоимости владения	Оценка стоимости восстановления ЦС, функционального узла или единицы оборудования. Оценка эксплуатационных затрат. Разработка сценариев и графика проведения технических воздействий (текущий, средний и капитальный ремонт, вывод из эксплуатации) на основе прогнозирования наработки на отказ и возникновения дефектов.
Процесс разработки карты возможных сценариев выбора вида технических воздействий (оптимизации):	Расчет показателей экономической эффективности; Доходы от использования ЦС (электроэнергия, мощность, тепло). Стоимость владения ЦС. Формирование/корректировка программы ремонтов и технического обслуживания, включая компоненты проактивного принятия решений. Формирование/корректировка программы технического перевооружения и реконструкции ЦС.
Процесс обеспечения и контроля реализации технических воздействий.	Мониторинг. Выявление несоответствий.

Таблица 2

данных)» были предложены следующие методики предиктивного анализа оборудования (и сформулированы гипотезы о взаимосвязях между концептами в рамках задачи предиктивного анализа генерирующего оборудования), в которых используются следующие комбинированные методы прогнозирования:

- метод выявления предотказных состояний, использующий систему правил о работе технологического оборудования;
- метод выявления предотказных состояний (определения Р–F интервала) на основе анализа и прогнозирования изменения основных характеристик технологического оборудования;
- метод прогнозирования работки на отказ технологического оборудования на основе данных об отказах и технических воздействиях;
- метод выявления предотказных состояний на основе анализа работы эталонной модели (цифрового двойника).

Применение методов зависит от возможностей энергетических компаний осуществлять процессы сбора и анализа данных, что может рассматриваться как степень

цифровой зрелости. В табл. 4 представлены требования к данным, необходимым для применения методов, которые могут быть рассмотрены как индекс цифровой зрелости.

Опираясь на данные методы, могут быть усовершенствованы следующие методические указания:

1. методические указания по расчету индекса технического состояния отдельных функциональных узлов основного технологического оборудования на базе данных об отказах и предотказных состояниях;
2. методические указания по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа;
3. методика комплексного определения показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства;
4. методические указания по формированию технических воздействий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход к цифровой модели энергетического предприятия затруднен без глубокого анализа существующих систем и имеющихся научных и технических результатов. В статье предложена онтологическая модель риск-ориентированного управления технологическим оборудованием (на примере АО «Мобильные ГТЭС») как результат реализации подготовительного этапа пилотного проекта в рамках ведомственной программы «Единая техническая политика — надежность электроснабжения».

Предлагаемая онтологическая модель, включающая основные концепты предметной области, позволяет формировать требования для создания систем предиктивного анализа работы основного технологического оборудования на примере оборудования МГЭС.

Следует отметить инвариантный подход к формированию онтологии, что позволяет говорить о возможности применения подхода к другому классу технологического оборудования в энергетике. Формализованное представление классов оборудования может быть использовано в онтологиях других систем энергетики.

## ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ДАННЫХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИК

Методика/метод	Индекс цифровой зрелости	Данные о состоянии технологического оборудования	Данные о работе обеспечивающих систем	Данные о работе систем в операционном окружении	Математическая модель высокой степени адекватности
Методика расчета вероятностей отказа, утвержденная Минэнерго России	0	Да	Нет	Нет	Нет
Метод выявления предотказных состояний на основе системы правил о работе технологического оборудования	1	Да	Нет	Нет	Нет
Метод выявления предотказных состояний на базе анализа и прогнозирования изменения основных характеристик технологического оборудования	2	Да	Нет	Да	Нет
Метод прогнозирования работки на отказ технологического оборудования на основе данных об отказах и технических воздействиях	3	Да	Да	Да	Нет
Метод выявления предотказных состояний на основе анализа работы эталонной модели (цифрового двойника)	4	Да	Да	Да	Да

Таблица 4

### От редакции:

Приглашаем специалистов, вовлеченных в данную тему, высказать свое мнение на страницах нашего журнала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Industry 4.0 Challenges and solutions for digital transformation and use of exponential technologies, Deloitte. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>.
2. Industry 4.0 — Opportunities and challenges of Industrial Internet, PricewaterhouseCoopers. URL: <https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>.
3. Цифровая трансформация в России 2018. Аналитический отчет на основе опроса представителей российских компаний. URL: [https://komanda-a.pro/blog/dtr\\_2018](https://komanda-a.pro/blog/dtr_2018).
4. Грабчак Е.П., Медведева Е.А., Васильева И.Г., Как сделать цифровизацию успешной // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 25–29. URL: <http://energypolicy.site/index.php/2018-god/5/233-e-p-grabchak-e-a-medvedeva-i-gvasileva-kak-sdelat-tsifrovizatsiyu-uspeshnoj>
5. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473>.
6. Массель Л.В. Методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 30–42. URL: <http://energypolicy.site/index.php/2018-god/5/234-l-v-massel-metody-i-intellektualnye-tekhnologii-nauchnogo-obosnovaniya-strategicheskikh-reshenij-po-tsifrovoj-transformatsii-energetiki>
7. Järvenpää, E., Siltala, N., Hylli, O., Minna Lanz, M. The development of an ontology for describing the capabilities of manufacturing resources, // Journal of Intelligent Manufacturing (2019). # 30. P. 959. URL: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1427-6>.
8. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering. System life cycle processes. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/63711.html>.
9. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей, утв. приказом Минэнерго России от 26.07.2017 г. № 676. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456088008>
10. Nural M.V., Cotterell M.E., Peng H., Xie R., Ma P. & Miller J.A. Automated Predictive Big Data Analytics Using Ontology Based Semantics. International Journal of Big Data. 2015. # 2 (2), 43–56. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5898823/>.
11. Cuenca J., Larrinaga F., Curry E. A Unified Semantic Ontology for Energy Management Applications. WSP/WOMoCoE@ISWC. 2017. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Unified-Semantic-Ontology-for-Energy-Management-Cuenca-Larrinaga/d06c999c7e9a0d534e432d934ef10edeb704ddd>
12. Sure Y., Staab S., Studer R. Ontology engineering methodology. In S. Staab & R. Studer (eds.), Handbook on ontologies (2nd ed., pp. 135–152). New York: Springer, 2009. ISBN 978-3-540-70999-2. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-92673-3\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-92673-3_6)

## ИНФРАСТРУКТУРА (ФАБРИКА ДАННЫХ)

Название концепта инфраструктуры (фабрики данных)	Описание класса
Источники данных	Родительский класс, предназначен для описания источников данных.
Методы анализа данных	Родительский класс, характеризующий методы обработки данных для предиктивного анализа и риск-ориентированного управления.
Архитектура системы риск-ориентированного управления	Родительский класс, характеризующий компоненты системы риск-ориентированного управления на основе предиктивного анализа. Включает в себя подклассы, соответствующие уровням архитектуры: уровню сбора данных, уровню обработки потоков данных в режиме реального времени, уровню хранения данных и метаданных, уровню пакетной обработки данных, уровню предиктивной аналитики, уровню поддержки принятия решения и уровню представления.
Интерфейсы и протоколы	Родительский класс, определяющий интерфейсы и протоколы взаимодействия подсистем для передачи данных (JSON, OWL, XML, OPC)

Таблица 3