

2. СОУ-Н ЕЕ 20.262:2007. Застосування запобіжника-роз'єднувача ПРВТ-10 для реконструкції, модернізації та нового будівництва розподільчих електричних мереж напругою 10 кВ. Настанова.

3. Шабад М. А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л.: Энергоатомиздат, 2003. – 350 с.

УДК 621.039.56

**М.В. Лапа**, канд. техн. наук

**К.Н. Маловик**, канд. техн. наук

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, Украина

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ О РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

*В статье проведен системный анализ и классификация знаний экспертов, принимающих решения о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС в области ресурсоспособности оборудования для оценки их компетентности и квалификации в данной предметной области. Разработана структурная модель знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования с использованием понятия гомоморфизма.*

**Ключевые слова:** ресурсоспособность оборудования, экспертная оценка, гомоморфизм, инфологическая модель, оценка компетентности.

*Проведено системний аналіз та класифікацію знань експертів, що приймають рішення щодо продовження строку експлуатації обладнання АЕС у галузі ресурсоспроможності обладнання для оцінки їх кваліфікації та компетентності в цій предметній сфері. Розроблено структурну модель знань експертів про ресурсоспроможність обладнання з використанням поняття гомоморфізму.*

**Ключові слова:** ресурсоспроможність обладнання, експертна оцінка, гомоморфізм, інфологічна модель, оцінка компетентності.

*The analysis and classification of expert knowledges, accepting decision about the extension of exploitation term of nuclear power plant equipment for the estimation of their competence and qualification in this subject domain is conducted in the article. The structural model of expert knowledges is developed with the use of concept of homomorphism.*

**Key words:** resource of nuclear power plant equipment, expert knowledges, homomorphism, estimation of competence.

**Постановка проблемы.** Комплексная характеристика «ресурсоспособность оборудования»  $Y$  является функцией частных характеристик (в т. ч. индикаторов состояния объекта)  $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ . Определить эту функциональную связь вряд ли является возможным, возможно лишь определить характер изменения комплексной характеристики  $Y$  в зависимости от изменения некоторой частной характеристики  $X_i$ ; определить ее степень влияния на  $Y$ . Поэтому используются экспертные методы оценки ресурсных характеристик (РХ) элементов энергоблоков, основанные на нечетких математических моделях [1], инфологическое моделирование предметной области и метод выбора аргументов, влияющих на ОР оборудования, изложенный в [2].

**Анализ исследований и публикаций.** Достоверность экспертной оценки РХ (а как следствие – безопасность АЭС) зависит от компетентности экспертов в данной предметной области. В [3] рассмотрена оценка компетентности экспертов на основе нечеткого отношения преимущества. Существуют современные методы оценки конкурентоспособности персонала [4], учета компетентности экспертов при оценке объектов интеллектуальной собственности [5]. Однако на практике в атомной энергетике отсутствуют и не применяются методики учета компетентности экспертов, принимающих решение о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС, что влияет на достоверность оценки. Поэтому необходим системный анализ и классификация знаний экспертов в области ресурсоспособности оборудования, разработка моделей, критериев оценки компетентности экспертов, привлекаемых к принятию решений о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС.

**Цель статьи** – системный анализ и классификация знаний экспертов в области ресурсоспособности оборудования, разработка моделей, критериев оценки компетентнос-

ти экспертов, привлекаемых к принятию решений о продлении срока эксплуатации оборудования АЭС.

**Классификация знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования АЭС.** Процесу разработки методик оценки ресурсных характеристик оборудования АЭС предшествует системный анализ экспертных знаний в данной предметной области. Рассмотрим те аспекты экспертных знаний [6], учет которых оказывает существенное влияние на разработку моделей и методов оценки ресурсных характеристик (РХ) оборудования АЭС и определяет степень компетентности эксперта именно в области оценки ресурсоспособности оборудования АЭС.

Критериями классификации, применяемыми в инженерии знаний согласно [6] являются концептуальный тип, функциональное назначение и экспрессивность. По функциональному назначению экспертные знания можно разделить на три вида.

Первый вид знаний – это декларативные знания. Например, знания о проектных характеристиках, дефектах, отказах оборудования, а также ограничения на параметры и характеристики (область определения, многозначность, временная зависимость, типичное значение для некоторого дефекта). Источником декларативных знаний являются статистические эксплуатационные данные отдела качества предприятия, данные Украинской базы данных надежности (УБДН), справочники, стандарты. Причем информация должна быть актуальной, релевантной, достоверной, полной.

Второй вид знаний – процедурные знания, позволяющие породить новые знания на основе имеющихся. Большинство этих знаний выражается в виде причинно-следственных знаний типа «Если – то», либо в виде функциональных зависимостей, обеспечивающих нахождение значения параметра в результате использования некоторой формулы. Однако в области оценки ресурсных характеристик оборудования для комплексных ресурсных характеристик (например, остаточный ресурс (ОР) оборудования) функциональные зависимости  $Y = \Psi(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$  не установлены. В работах по созданию интеллектуальных систем предлагался подход извлечения процедурных знаний в виде экспертных правил типа «Если – то» путем интервьюирования экспертов [6]. Производительность такого процесса довольно низкая, поэтому функция приобретения процедурных экспертных знаний является одним из главных «узких мест» при разработке методов оценивания РХ оборудования АЭС и отсутствии на сегодняшний день методик оценки РХ, в частности, для уникального высоконадежного оборудования, для которого неприменимы вероятностные и статистические методы в связи с отсутствием отказов и дефектов.

Третий вид знаний эксперта связан с его умением выбирать наиболее перспективные пути поиска решений. Эти знания позволяют эксперту отбрасывать маловероятные, с его точки зрения, гипотезы и подключать к решению задачи наиболее релевантные знания. Они, в отличие от знаний первого и второго видов, являются метазнаниями и обеспечивают наиболее эффективное использование знаний первого и второго видов. Квалификация эксперта определяется наличием таких знаний.

По экспрессивности знания, на основе которых производится оценка РХ оборудования АЭС, можно классифицировать как поверхностные и глубинные. Поверхностные знания имеют форму простых эмпирических ассоциаций. Иногда достаточно приближенного заключения (например, без применения сложных диагностических методов для определения состояния материала оборудования), чтобы идентифицировать состояние экземпляра оборудования и определить необходимый ремонт. Такой подход обоснован для хорошо изученных аспектов предметной области.

Глубинные (каузальные) знания, существующие в виде различных моделей, категорий и абстракций, позволяют отразить взаимосвязь между исходными параметрами

(например, между эксплуатационными данными и остаточным ресурсом оборудования). Например, инфологическая модель (ИЛМ) предметной области (рис. 1), графовая модель состояний и переходов полумарковских процессов восстановления оборудования АЭС (рис. 2).

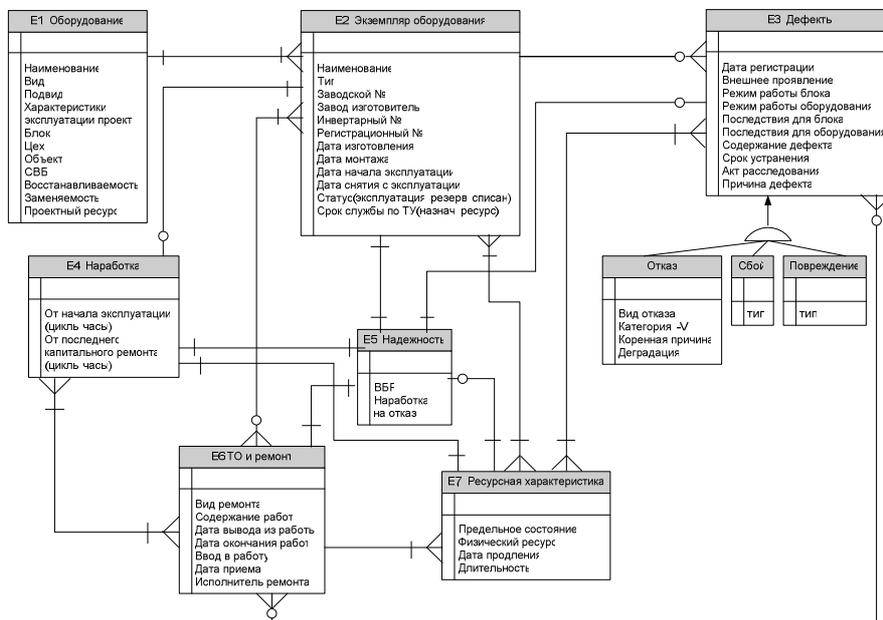
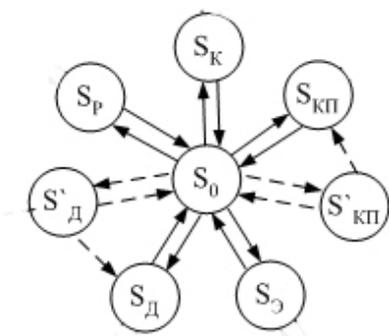


Рис.1. Инфологическая модель предметной области для оценивания ресурсных характеристик оборудования АЭС



- $S_0$  – начальное состояние объекта;
- $S_K$  – состояние после конструктивного отказа внезапного;
- $S_P$  – состояние после ресурсного отказа;
- $S_д$  – состояние после деградационного отказа выявленного;
- $S'_д$  – состояние после деградационного отказа невыявленного;
- $S_{кп}$  – состояние после конструктивного отказа параметрического

Рис.2. Граф состояний и переходов полумарковских процессов восстановления оборудования АЭС

Уровень квалификации и компетентности экспертов, таким образом, определяется наличием не только адекватных, релевантных, актуальных, достоверных декларативных знаний в данной предметной области, но и наличием процедурных, управляющих, каузальных знаний.

Анализ используемых на сегодняшний день методик [7] показал, что для решения задачи оценивания и прогнозирования остаточного ресурса оборудования АЭС используются большей частью только декларативные знания, поэтому необходимо получение процедурных и каузальных знаний в виде адекватных моделей, категорий и абстракций, формализация процедурных знаний на основе декларативных знаний и разработка на их основе нормативных документов для оценивания РХ оборудования АЭС.

**Структурная модель знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования с использованием понятия гомоморфизма.** С точки зрения структурно-функционального анализа поле знаний экспертов об объектах предметной области можно стратифициро-

вать, то есть рассматривать, на различных уровнях абстракции понятий. Страта – термин, который характеризует уровень описания или абстрагирования. Иерархическая структура объекта, соответствующая понятию страта, предполагает, что свойства реального сложного объекта описаны в форме некоторой совокупности, в которой отдельные описания приведены с различных точек зрения и упорядочены по уровню их значимости. То есть поле знаний представляет собой стратифицированную иерархическую систему. В структурной модели знаний экспертов об объектах предметной области каждый следующий уровень служит для восхождения на новую ступень обобщения и углубления знаний в предметной области. Таким образом, возможно наличие нескольких уровней понятийной структуры  $S_k$ . Представляется целесообразным связать их с уровнем конкурентных преимуществ экспертов [4] – компетентностью, профессиональным опытом. Естественно, что и стратегии принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования энергоблоков экспертами, то есть функциональные структуры  $S_f$  на различных уровнях будут существенно отличаться.

Если попытаться дать математическую интерпретацию уровней структурной модели знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования  $U = (U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$ , то наиболее прозрачным является понятие гомоморфизма — отображения некоторой системы  $E$ , сохраняющего основные операции и основные отношения этой системы. Пусть

$$E = (E_1, (o_i : i \in I), (r_j : j \in J)) -$$

некоторая система с основными понятиями  $o_i, i \in I$  и основными отношениями  $r_j, j \in J$ . Гомоморфизмом системы  $E$  в однотипную ей систему  $E'$ :

$$E' = (E'_1, (o'_i : i \in I), (r'_j : j \in J)),$$

называется отображение

$$\Phi : E \rightarrow E',$$

удовлетворяющее следующим двум условиям:

$$\Phi(o_i, (e_1, \dots, e_m)) = o'_i(\Phi(e_1), \dots, \Phi(e_m));$$

$$(e_1, \dots, e_m) \in r_j \rightarrow (\Phi(e_1), \dots, \Phi(e_m)) \in r'_j$$

для всех элементов  $e_1, \dots, e_m$  из  $E$  и всех  $i \in I, j \in J$ .

Согласно введенным обозначениям уровни структурной модели знаний экспертов есть гомоморфизмы моделей (то есть понятий и отношений) предметной области

$$\Phi : M \Rightarrow M',$$

где  $M = (A, R, S)$ ;  $M' = (A', R', S')$ ;  $A'$  – мета-понятия, или понятия более высокого уровня абстракции;  $R'$  – мета-отношения;  $S'$  – мета-стратегии принятия решений (о продлении ресурса оборудования АЭС). Так, для предметной области оценивания ресурсных характеристик оборудования понятиями являются сущности инфологической модели предметной области на рис. 1 (отказ, ресурсная характеристика, экземпляр оборудования) и др., отношениями – связи ИЛМ, стратегией – метод экспертного оценивания ресурсных характеристик [1].

Восходя по ступеням структурной модели, получаем систему гомоморфизмов. Уровни структурной модели знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования  $U = (U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$ , соответствуют уровню компетентности экспертов в данной предметной области.

Результат проведенного экспертного оценивания зависит от квалификации и компетентности эксперта, что в конце концов влияет на степень достоверности данного про-

гноза. Поэтому значение РХ, предлагаемое экспертом, нужно корректировать показателем компетентности эксперта [5; 8; 9], который можно определить из показателей творческой активности и научной квалификации (табл. 1).

Таблица 1

*Значение показателей творческой активности и научной квалификации эксперта*

<i>Показатели</i>	<i>Удельный вес показателей</i>
<i>Творческая активность</i>	
Публикации	0,15
Участие в симпозиумах, конференциях, семинарах (международных, республиканских, отраслевых) институтских)	0,15
Наличие изобретений (внедренных, авторских свидетельств, заявок)	0,1
<i>Научная квалификация</i>	
Ученая степень	0,08
Должность	0,07
Стаж работы	0,05
Показатели компетентности (высокая, средняя, низкая)	0,25
Оценка компетентности эксперта заместителем директора по научной работе	0,15

Значение экспертной оценки РХ, скорректированное показателем компетентности эксперта, можно представить в виде:

$$O_e = O_{ec} * a,$$

где  $O_{ec}$  – значение экспертной оценки РХ;

$a$  – показатель компетентности эксперта:

$$a = \sum_{i=1}^8 a_i,$$

где  $a_i$  - значение показателей творческой активности и квалификации (табл. 1).

В дальнейшем необходимо провести исследования, связанные с нормированием уровней компетентности экспертов.

**Выводы.** Системный анализ и классификация экспертных знаний о ресурсоспособности оборудования АЭС, используемых на сегодняшний день на АЭС методик показал, что для решения задачи оценивания и прогнозирования остаточного ресурса оборудования АЭС используются большей частью только декларативные знания, поэтому необходимо получение глубинных знаний в виде адекватных моделей, категорий и абстракций, формализация процедурных знаний на основе декларативных знаний и разработка на их основе нормативных документов для оценивания РХ оборудования АЭС.

Предложена математическая интерпретация уровней структурной модели знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования АЭС в виде системы гомоморфизмов.

Оценку РХ, данную экспертом, необходимо корректировать показателем компетентности эксперта, который определяется показателями творческой активности и научной квалификации, а также наличием не только декларативных, но и процедурных, управляющих и каузальных знаний.

В дальнейшем необходимо провести исследования, связанные с нормированием уровней компетентности экспертов.

#### **Список использованных источников**

1. Маловик К. Н. Метод экспертной оценки ресурсных характеристик изделий / К. Н. Маловик // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій та управління. – 2011. – № 3 (33). – С. 19-30.

2. Маловик К. Н. Інфологічне моделювання предметної області для оцінювання ресурсних характеристик обладнання АЕС / К. Н. Маловик // Відбір та обробка інформації. – 2012. – № 36 (112). – С. 110-115.
3. Василевич Л. Ф. Оцінка компетентності експертів на основі нечіткого відношення переваги / Л. Ф. Василевич, К. М. Маловік // Вісник інженерної академії України. – Вінниця, 2011. – № 2. – С. 67-72.
4. Лапа М. В. Конкурентоспроможність персоналу: навчально-методичний посібник / М. В. Лапа. – Чернігів: ЦППК працівників органів держ. влади, органів місцевого самоврядування, держ. підприємств, установ і організацій, 2009. – 46 с.
5. Ковальчук Т. Г. Особливості реалізації інтелектуальної власності в економіці України: дис. ... канд. екон. наук: 08.01.01 / Т. Г. Ковальчук. – К., 2003. – 207 с.
6. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
7. Маловик К. Н. Системное исследование ресурсных характеристик компонентов энергоблоков АЭС / К. Н. Маловик // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – № 4. – С. 40-51.
8. Мікульонок І. О. Основи інтелектуальної власності / І. О. Мікульонок. – К.: Політехніка НТУУ “КПІ”, 2005. – 230 с.
9. Лапа М. В. Основи інтелектуальної власності: навчальний посібник / М. В. Лапа. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2008. – 96 с.

УДК 620.197

**Н.В. Мищенко**, канд. техн. наук

Черниговский государственный институт экономики и управления, г. Чернигов, Украина

**О.И. Сизая**, д-р техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**А.Н. Мищенко**, студент

Черниговский государственный институт экономики и управления, г. Чернигов, Украина

**С.С. Зенченко**, студент

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И УРОВНЯ ЭЛЕКТРОЛИТА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

*Предложено систему поддержания температуры электролита для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в рекомендованных заводом-изготовителем пределах с целью уменьшения коррозии решёток пластин аккумуляторов.*

**Ключевые слова:** свинцово-кислотные аккумуляторные батареи; фотоэлектрические установки; температура электролита; коррозия.

*Запропоновано систему підтримання температури електроліту для свинцево-кислотних акумуляторних батарей у рекомендованих заводом-виробником межах з метою зменшення корозії решіток пластин акумуляторів.*

**Ключові слова:** свинцево-кислотні акумуляторні батареї; фотоелектричні установки; температура електроліту; корозія.

*The system of electrolyte temperature support for the lead-acid storage batteries in recommended manufacturer limits with the aim of corrosion reduction of the lattice plates of accumulators is suggested.*

**Key words:** lead-acid storage batteries, photoelectrical installations, electrolyte temperature, corrosion.

**Постановка проблемы.** Постоянное увеличение стоимости электроэнергии заставляет искать пути оптимизации её потребления. Одним из направлений уменьшения затрат на электроэнергию может быть применение альтернативных источников энергии совместно с существующими энергосетями, а именно – применение фотоэлектрических установок. Существенное влияние на стоимость и надёжность работы автономных фотоэлектрических установок оказывают аккумуляторные батареи.

**Анализ исследований и публикаций.** Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи на сегодняшний день остаются самыми надёжными, долговечными и не требую-