

11.2. К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТЕРЬ И ВЫЯВЛЕНИЯ БЕЗУЧЕТНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ¹

Кумаритов А.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационных систем в экономике, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет);
Хузмиев И.М., к.т.н., Северо-Осетинский филиал ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Северного Кавказа», отдел мониторинга и анализа;

Дзгоев А.Э., аспирант, ассистент кафедры информационных систем в экономике, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)

Установлено, что одна из самых сложных и актуальных задач в электрораспределительных организациях, это задача учета потребления и потерь электроэнергии в секторе мелких бытовых потребителей. Рассмотрены вопросы разработки экспертной системы поддержки принятия решения при выявлении безучетного потребления электроэнергии, используя вероятностный подход и теорию Байеса.

Одними из видов коммерческих потерь электроэнергии являются неплатежи за потребляемую электроэнергию, безучетное потребление электроэнергии и ее хищение. Практика работы электроснабжающих организаций Республики Северная Осетия – Алания (PCO-Алания) показывает, что масштабы потерь в значительной степени не уменьшаются (рис. 1).

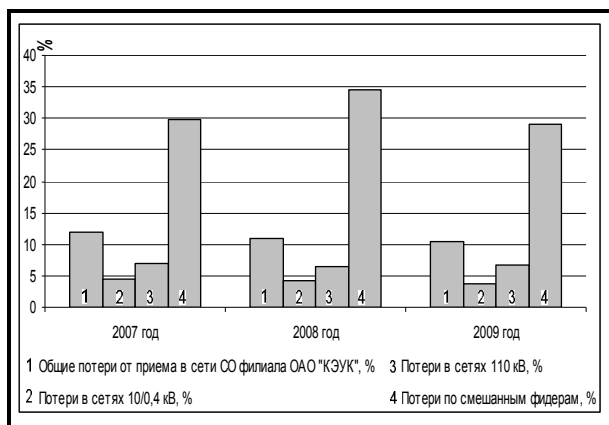


Рис. 1. Потери электроэнергии в PCO-Алания за период с 2007-2009 гг., %

Однако ни одна из заинтересованных организаций не проводила систематической работы по обнаружению, предотвращению и количественной оценке ущерба от хищений и безучетного потребления электроэнергии. Безучетное потребление электроэнергии и ее хищение искажают статистику электроснабжения и электросбе-

¹ Исследования проводились в рамках использования гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых МД-2194.2010.9.

режения, приводят к росту небаланса между выработанной и отпущенной электроэнергией. Вследствие постоянного удорожания электроэнергии, и снижения платежеспособности потребителей, а также из-за своей технической доступности и отсутствия эффективных механизмов привлечения к ответственности, актуальность проблемы безучетного потребления электроэнергии неизбежно растет.

По оценкам зарубежных экспертов [1, 4] максимально допустимые общие потери электроэнергии в электрических сетях не должны превышать 9-10% (в том числе нетехническая составляющая, включающая и потери от задержки оплаты, которая в передовых энергокомпаниях составляет не более 1,5-2%). Расчеты технических потерь, выполняемые АО ВНИИЭ [1, 4], показывают, что наблюдающийся в последние годы рост потерь до 25-40% можно объяснить лишь одной причиной – ростом доли коммерческой составляющей. По данным АО «Фирма ОРГРЭС», эта доля от суммарных потерь электроэнергии в среднем по энергосистеме достигает 50% и имеет явную тенденцию к росту [1, 4].

Рассмотрим статистические данные потерь электроэнергии в сетях PCO-A за 2009 г. (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что доля общих потерь электроэнергии от приема в сеть и потери по смешанным фидерам выходят за допустимые границы – 9-10%. Особенно тревожную ситуацию вызывают потери по смешанным фидерам, где особенно большие потери электроэнергии вследствие сложности контроля данных смешанных фидеров. Из этого следует, что оперативному обнаружению мест и выявлению безучетного потребления, хищениям не уделяется достаточного внимания.

Далее для статистики приведем данные по потерям РЭС PCO-Алания за январь 2008 г. (рис. 2).

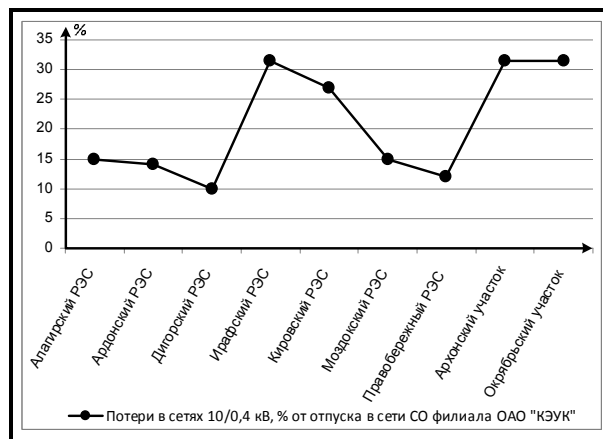


Рис. 2. Потери в сетях 10/0,4 кВ, доля от отпуска в сети СО филиала ОАО «КЭУК», %, янв. 2008 г.

Как показывают статистические данные, проблема высокой доли потерь электроэнергии не обусловлена только технологическими потерями, техническим состоянием оборудования и линий электропередачи, а так же погрешностями системы учета. В настоящее время специалистам в области электроэнергетики необходимо больше внимания уделять оперативному обнаружению безучетного потребления в секторе малых потребителей, используя научные методы и современные информационные технологии.

Таблица 1

ДАННЫЕ О ПОТЕРЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ РСО-АЛАНИЯ ЗА 2009 Г.

Ме- сяц	Прием в сети СО филиала ОАО «МРСК СК», тыс. кВт*ч	Общие по- тери, тыс. кВт*ч	Доля об- щих по- терь от приема в сети, %	Потери в се- тях 110 тыс. кВт*ч	Доля потерь в сетях 110 кВ от приема в сети, %	Потери в сетях 10/0,4 тыс. кВт*ч	Доля по- терь в се- тях 10/0,4 кВ от прие- ма в сети, %	Потери по смешанным фидерам, %
Янв.	202 128,202	29 315,419	14,5	11 243,153	5,562	18 072,266	8,940	34,6
Фев.	178 235,290	20 158,884	11,31	8 562,221	4,803	11 596,663	6,506	25,5
Март	145 641,733	16 042,193	11,01	6 649,101	4,565	9 393,062	6,449	27,3
Апр.	124 989,068	12 520,362	10,01	5 689,300	4,551	6 831,062	5,465	24,3
Май	122 082,537	12 140,035	9,94	5 047,934	4,13	7 092,101	5,809	26,3
Июнь	108 749,236	10 089,142	9,27	4 483,755	4,12	5 605,387	5,154	23,9
Июль	109 055,960	10 595,976	9,71	4 482,587	4,11	6 103,389	5,596	24,1
Авг.	111 281,956	11 146,014	10,016	4 825,355	4,33	6 320,659	5,679	23,4
Сент.	111 768,760	11 263,933	10,077	4 713,889	4,21	6 550,044	5,860	24,3
Окт.	138 820,296	15 323,010	11,038	5 952,053	4,28	9 370,957	6,750	28,5
Ноя.	148 295,744	16 013,762	10,798	6 609,414	4,45	9 404,348	6,34	26,5
Дек.	178 520,542	18 333,570	10,269	7 825,598	4,38	10 507,972	5,886	25,50
Всего	1 679 569,36	182 942,3	10,89	7 6094,36	4,53	10 6847,94	6,36	-

Для точного анализа поступающих данных с Автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) по небалансам бытовых потребителей предлагается использовать методику, основанную на построении экспертной системы поддержки принятия решения в области электроснабжения региона и теории вероятностей (теория Байеса).

Экспертная система принятия решений в процессе управления электроснабжением позволяет автоматизировать достоверные рассуждения человека – эксперта в области электроэнергетики. За счет своего быстродействия и отсутствия влияния нежелательных человеческих факторов позволяет быстро и непредвзято оценить результаты анализа технических и коммерческих потерь электроэнергии в регионе и их причины, а также выработать разумную ответную реакцию у лица, принимающего решение (ЛПР). Проектируемая экспертная система (ЭС) для принятия решений в электроснабжении региона, по своему смыслу является диагностирующей, прогнозирующей и управляющей [5]. Рассмотрим общую структуру взаимодействия системы учета потребления и потерь электроэнергии (информационной системы обработки данных) с ЭС (рис. 3).



Рис. 3. Структура взаимодействия ИСОД, СППР и УП

На основе анализа в реальном времени информации о входных и выходных сигналах, а также информации о внутреннем состоянии системы учета потребления и потерь электроэнергии в регионе (ИСОД) диагностирующая СППР делает заключения о том, что проведен

анализ потребления и потерь электроэнергии, а также о правильности функционирования ИСОД. При возникновении нестандартных, критических ситуаций, они должны фиксироваться системой поддержки принятия решений. Кроме того, на основе поступающих данных должны определяться места «неисправностей» в системе электроснабжения региона, и выдаваться рекомендация УП и ЛПР в электросетевых организациях с целью выхода из кризисной ситуации.

Такая ЭС выполняет задачу непрерывного мониторинга (слежения) за данными о потреблении и потерях электроэнергии в регионе. Диагностика состояния ИСОД и соответствующая интерпретация поступающей информации происходят в реальном времени. ЭС сигнализирует о превышении верхнего допустимого предела потерь электроэнергии, заданного в системе заранее, анализирует возможные причины и выдает специалистам в отрасли электроснабжения предлагаемое решение о целесообразности реакции на сложившуюся ситуацию.

Рассмотрим разработанную структуру СППР в процессе управления электроснабжением региона (рис. 4).

ЭС для анализа потерь электроэнергии содержит следующие подсистемы:

- база знаний;
- механизм вывода (средство компьютерного мышления);
- подсистема диалога;
- подсистема объяснения;
- подсистема анализа потерь;
- подсистема имитационного моделирования;
- подсистема прогнозирования потерь электроэнергии;
- интерфейс разработчика СППР (админская часть);
- интерфейс ЛПР в электросетевых организациях.

Основная задача заключается в применении механизма вывода к исходным знаниям с целью получения результирующих знаний, представляющих интерес для ЛПР.

Знания, которыми владеет эксперт по анализу потребления и потерь электроэнергии в электросетевых компаниях, делятся на декларативные и процедурные [5].

Декларативные знания (или факты) дают описание фактов и явлений внешнего мира, относительно которых можно установить, есть они в наличии или нет. Например, потери превышают верхний допустимый предел или нет?

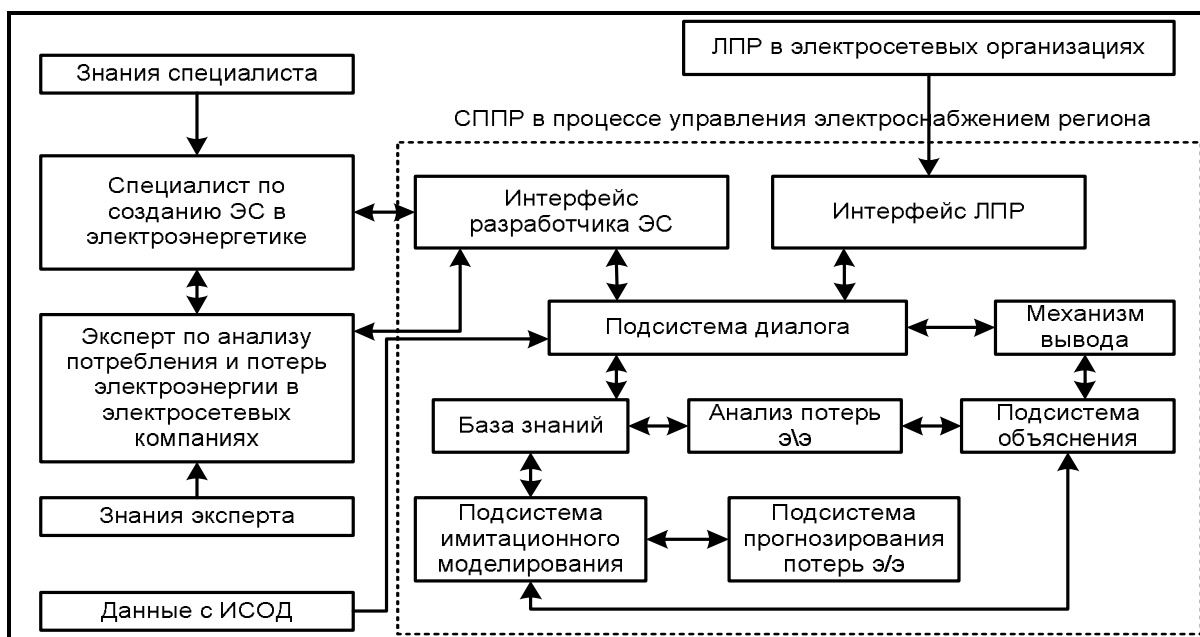


Рис. 4. Структура инновационной СППР в процессе управления электроснабжением региона

Процедурные знания заключаются в правилах манипулирования фактами для получения заключений, приводящих к новым знаниям (как декларативным, так, возможно, и процедурным). Распространенная форма представления процедурных знаний связана продукцией (правилом) «если – то». Например, запись «если **A** – то **B**», где **A** и **B** – факты, позволяет по факту **A** установить наличие факта **B**, если указанная продукция (элемент множества процедурных знаний) присутствует в базе знаний ЭС [5].

К знаниям специалиста по созданию ЭС в электроэнергетике относятся общезначимые, общеизвестные декларативные и процедурные знания. Такие знания доступны не только эксперту в данной предметной области (предметному эксперту), но и, в частности, инженеру знаний.

Знания эксперта по анализу потребления и потерь электроэнергии в электросетевых компаниях являются более ценными. Они включают различные новшества, эмпирические и интуитивные соображения, которыми владеет данный предметный эксперт. Так же как и знания специалиста по созданию ЭС в электроэнергетике, эти знания могут быть как декларативными, так и процедурными.

Эксперт по анализу потребления и потерь электроэнергии в регионе — это человек, являющийся признанным специалистом в данной предметной области и умеющий ясно объяснить свои методы, приемы и стратегии решения проблем. В ЭС моделируются знания одного или нескольких экспертов.

Специалист по созданию ЭС в электроэнергетике должен владеть полной информацией о конкретной ЭС, так как именно он осуществляет перенос знания эксперта по анализу потребления и потерь электроэнергии в ЭС при ее построении и настройке. Постоянно общаясь с экспертами, форматирует полученные знания для их введения в базу знаний ЭС [5].

ЛПР в электросетевых организациях использует разработанную СППР по прямому назначению:

- для точного анализа потребления электроэнергии в регионе;

- для максимально быстрого и оперативного анализа потерь электроэнергии в регионе;
- для выявления причин потерь превышающих допустимый предел верхней границы потерь электроэнергии по конкретному потребителю;
- для прогнозирования потерь электроэнергии в регионе;
- для проведения имитационного моделирования процесса учета потерь электроэнергии;
- для оптимизации времени при принятии решения в электросетевых компаниях по конкретному потребителю в регионе;
- для быстрого и верного принятия решения, благодаря оптимизации времени принятия решения в электрораспределительной организации.

Одна из главных проблем, возникающая при создании ЭС, состоит в учете неточности и ненадежности любой информации. В ЭС возникает задача оценки степени ненадежности наших выводов и рекомендаций при неточности исходных и вероятностных данных, а так же информации, поступающей в результате диалога с пользователем.

Далее рассмотрим один из способов рассуждения при наличии неопределенности, основанный на формуле Байеса теории вероятностей.

Одним из исчислений неопределенностей в теории экспертных систем является теория вероятностей и теорема Байеса в частности. С помощью формулы Байеса удается накапливать информацию, поступающую из различных источников, с целью подтверждения или неподтверждения определенной гипотезы.

В соответствии с поставленной задачей исследования и разработки системы учета потребления и потерь электроэнергии в секторе мелких потребителей, повышающей эффективность функционирования и управления РСК, были проведены исследования по анализу и выбору соответствующей концепции построения подобной системы, определяющей направления проводимых работ по выбору эффективных структурных и функциональных решений.

Предлагается концепция нового эффективного подхода к выявлению участка безучетного потребления в электрической сети на основе данных с используемых

в секторе малых потребителей систем автоматизации учета с учетом существующих условий.

Концепция разработки инновационной системы учета в общем виде описывается так. Данные о потреблении и потерях электроэнергии с АСКУЭ поступают в сетевую организацию раз в сутки, с дискретностью 30 мин. Возникает непростая ситуация, когда специалистам РСК предстоит проверить все данные по небалансам потребителей по всем фидерам и всем подстанциям региона. Задача действительно сложная, так как информации много, ее надо обработать, проанализировать и постараться выявить безучетное потребление, но только основываясь на своей интуиции и опыте и имея только данные о небалансе за каждые полчаса. Это не автоматизированная, очень длительная и трудоемкая работа, к тому же выявление небаланса через длительное время никак не способствует его скорейшему анализу и выявлению причин и места возникновения, а тем более и оперативному его устранению. В этом состоит основной недостаток существующих систем по учету потребления и потерь электроэнергии и доказывает актуальность выбранной проблемы выявления безучетного потребления. Когда говорят о допустимых небалансах, имеют в виду возможные погрешности измерительных комплексов и оценивают, насколько фактический небаланс можно объяснить этими причинами [2].

Задача эффективного функционирования РСК в области учета потребления и потерь электроэнергии в общем виде может быть формализовано представлено в виде следующих выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} N \rightarrow \max; \\ \sum_{n=1}^n E_n \rightarrow \max; \\ n = 1 \\ \sum_{n=1}^n BE_n \rightarrow 0; \\ n = 1 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\sum_{n=1}^N E_n \leq E_{predel}; \quad \sum_{n=1}^N P_n \leq P_{predel}; \quad \sum_{n=1}^N P_n \leq P_{pr},$$

где

N – количество бытовых потребителей электроэнергии в зоне деятельности РСК;

E_n – потребление электроэнергии n -го потребителя;

P_n – мощность электроэнергии n -го потребителя;

E_{predel} и P_{predel} – установленное ограничение на электроэнергию (E_{predel}) и мощность (P_{predel});

BE_n – безучетное потребление электроэнергии n -го бытового потребителя;

P_{pr} – максимальная допустимая суммарная присоединенная мощность для электрической сети, посредством которой обслуживаются потребители.

В качестве главного критерия для выявления безучетного потребления предложено использовать расчетные комплексные показатели $Q(BEn)$, показывающие вероятность безучетного потребления, в результате анализа потерь, при увеличении верхней границы допустимого небаланса, по конкретному бытовому потребителю. В предложенной системе расчет показателя $Q(BEn)$ на основе байесовских измерений небалансов потребителей, исключает любую субъективность при принятии решения о наличии «хищений»

электроэнергии, т.е. показатель $Q(BEn)$ служит объективным критерием автоматизированной системы при выборе эффективного решения по конкретному потребителю.

При этом, требуется разработать методы и алгоритмы расчета показателя $Q(BEn)$, а также и алгоритмизация его использования, с целью оптимизации скорости процесса принятия решения о наличии безучетного потребления в секторе мелких потребителей.

Подход предложен впервые и является новым.

При выборе в качестве критериев оптимального управления выражений (1), в общем виде задача оптимизации скорости учета и анализа потребления и потерь электроэнергии и принятия решения при наличии выявления безучетного потребления, формулируется следующим образом: необходимо найти множество переменных и параметров состояния системы учета потребления электроэнергии, при которых для рассматриваемого периода времени T целевые функции достигают своих экстремумов:

$$Y1 = \varphi(\sum_{i=1}^n N^{(T)} n, Un, Q(BEn), \{C^{(T)}\}) = \max, \quad (2)$$

при ограничении

$$\sum_{i=1}^{i=n} Nn \leq Nr,$$

где

N_r – количество бытовых потребителей в регионе обслуживания РСК;

N_n – подгруппы потребителей;

U_n – уровень обслуживания клиентов;

$Q(BEn)$ – комплексный показатель, характеризующий вероятность наличия безучетного потребления по конкретному потребителю;

$\{C^{(T)}\}$ – множество неконтролируемых переменных, влияющих на реакцию бытовых потребителей электроэнергии в рассматриваемый период времени и существенных с точки зрения глобальной цели;

$$Y2 = \varphi(\sum_{n=1}^N E_n, Un, Q(BEn)^{(T)}, \{C^{(T)}\}) = \max, \quad (3)$$

при указанных ограничениях:

$$\sum_{n=1}^N E_n \leq E_{predel}; \quad \sum_{n=1}^N P_n \leq P_{predel}; \quad \sum_{n=1}^N P_n \leq P_{pr};$$

$$Y3 = \varphi(\sum BE^{(T)} n, Un, Q(BEn)^{(T)}, \{C^{(T)}\}) = \min, \quad (4)$$

при ограничении $E_n > 0$.

Таким образом, имеем задачу многокритериальной оптимизации поддержки принятия решения в электроснабжении региона, при неполной, нечеткой и вероятностной информации об учете потребления и оперативном анализе технических и коммерческих потерь, так как на реакцию в секторе мелких бытовых потребителей электроэнергии влияют неопределенные возмущения $\{C^{(T)}\}$.

В подобных случаях применение аналитических методов оптимизации связано с большими вычислительными сложностями, при этом не гарантируется получение практически полезного решения.

С учетом этого более эффективным для рассматриваемой задачи следует признать подходы к оптимизации поддержки принятия решения в электроснабжении региона, при неполной, нечеткой и вероятностной информации об учете потребления и оперативном ана-

лизе технических и коммерческих потерь на основе имитационного моделирования, вероятностной теории Байеса, и путем создания экспертной подсистемы для ЛППР, используя теорию нечетких множеств.

Исходя из указанного, приведенные ниже данные о проведенных исследованиях основных параметров выявленного критерия относятся, прежде всего, к сектору бытовых потребителей **БП**, как наиболее сложному объекту учета потребления и потерь электроэнергии, а так же к сложному выявлению безучетного потребления.

Предложенный комплексный показатель $Q(BE_n)$ является суммой отдельных параметров. Эти параметры показателя $Q(BE_n)$ (далее – Akn), где:

K – номер параметра;

n – уникальный индивидуальный номер **ИН** бытового потребителя в **БД**, в заданных условиях непредсказуемы, являясь случайными, вероятностными и нечеткими событиями, поэтому для их исследования применимы методы теории вероятностей, математической статистики и теории нечетких множеств (при разработке экспертной подсистемы принятия решений).

При исследовании данного свойства параметра $Q(BE_n)$, в работе выбраны получасовые интервалы данных небаланса (потерь) электроэнергии в сутки Akn , так как в Российской Федерации данные с АСКУЭ поступают в РСК раз в день с 30-минутным интервалом.

Пусть наличие безучетного потребления при факте превышения допустимого небаланса потерь n -м бытовым потребителем потребляемой им электроэнергии будем рассматривать как случайное событие BE , а вероятность этого события будем искать при дополнительном условии, что произошло некоторое событие (превышение предела допустимого небаланса потерь электроэнергии) $P(SBE)$, имеющее положительную вероятность, то такая вероятность $P(BE/SBE)$ является условной.

В соответствии с теоремой умножения вероятностей:

$$P(BE * SBE) = P(SBE) * P(BE / SBE) = P(BE) * P(SBE / BE). \quad (5)$$

Если событие $P(BE)$ может осуществиться с одним и только одним из k несовместимых событий $SBE_1, SBE_2, \dots, SBE_k$, то

$$BE = \sum_{i=1}^k BE * SBE_i, \quad (6)$$

где любые два события $BE * SBE_i$ и $BE * SBE_j$ (при различных i и j) несовместимы.

В то же время по теореме сложения вероятностей для события A :

$$P(A) = P(B) + P(C),$$

где B и C – частные случаи события A , и все три события принадлежат полю S .

Следовательно, вероятность события $P(BE)$ равна:

$$P(BE) = \sum_{i=1}^k P(BE * SBE_i). \quad (7)$$

С учетом теоремы умножения вероятностей, полная вероятность:

$$P(BE) = \sum_{i=1}^k P(SBE_i) * P(BE / SBE_i), \quad (8)$$

откуда условная вероятность события $P(BE/SBE_j)$:

$$P(BE / SBE_j) = \frac{P(BE) * P(SBE_j / BE)}{\sum_{i=1}^k [P(BE) * P(SBE_i / BE)]}, \quad (9)$$

(формула проверки гипотез, или формула Байеса [6]).

Исходя из условий решаемой задачи, уточним:

$P(BE)$ – событие, заключающееся в том, что существует наличие безучетного потребления при факте превышения допустимого небаланса потерь n -м бытовым потребителем потребляемой им электроэнергии;

$P(SBE_i)$ – событие, заключающееся в том, действительно имеет место превышение допустимого небаланса потерь;

$P(SBE_2)$ – событие, заключающееся в том, что в предшествующие отчетному дню за определенную полчасовку так же, наблюдалось превышение допустимого небаланса, поэтому все архивные данные должны храниться в базе данных системы учета потребления и потерь электроэнергии в полном объеме.

\overline{BE} , $\overline{SBE_1}$ и $\overline{SBE_2}$ – события, противоположные указанным выше.

Соответственно:

$P(BE)$ – вероятность того, что событие BE истинно;

$P(SBE_i)$ – вероятность того, что событие SBE_i произошло;

$\overline{P(BE)} = 1 - P(BE)$ – вероятность того, что событие BE ложно;

$\overline{P(SBE_i)} = 1 - P(SBE_i)$ – вероятность того, что событие SBE_i не произошло.

Далее по формуле Байеса [6] имеем:

$$P(BE / SBE_i) = (P(SBE_i / BE) * P(BE)) / \sum_{i=1}^k P(SBE_i / BE) * P(BE) + P(SBE_i / \overline{BE}) * P(\overline{BE}); \quad (10)$$

$$P(BE / \overline{SBE_i}) = P(\overline{SBE_i} / BE) * P(BE) / \sum_{i=1}^k P(\overline{SBE_i} / BE) * P(BE) + P(\overline{SBE_i} / \overline{BE}) * P(\overline{BE}). \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) использованы в статье в качестве основы для расчета параметров $A1n$, так как они дают возможность количественного решения проблемы периодической переоценки вероятности гипотезы BE_n с учетом новых обстоятельств.

Используя полученные из (10) и (11) вероятности в качестве значения параметра $A1n$, будем считать для n -го бытового потребителя

$$A1n = Pn(BE / SBE_i) \quad (12)$$

или, в случае $t_opl > T_opl$:

$$A1n = Pn(\overline{BE} / \overline{SBE_i}), \quad (13)$$

При этом параметр $A1n$, можно интерпретировать как прогноз вероятности безучетного потребления n -м **БП** в будущем, на основе учета реально существующих в данное время условий для осуществления события безучетного потребления.

Параметр $A1n$ – вероятность случайного события, из чего следует:

$$0 \leq A1n \leq 1$$

Очевидно, что чем параметр $A1n$ больше (ближе к единице), тем больше вероятность наличия безучетного потребления электроэнергии n -м потребителем.

Чтобы получить данные для расчета $A1n$, используем следующие полученные из **БД** поля:

$Ns^{(T)}$ – содержащее **ИН** всех **БП**, которым **РСК** поставляла **ЭЭ** в отчетном месяце **T**;

$Nop^{(T)}$ – содержащий **ИН** потребителей, соответствующих в текущем месяце условию $t_opl \leq T_opl$ в отношении к потребленной в отчетном месяце **T ЭЭ**;

$Nop^{(T-1)}$ – содержащий **ИН** потребителей, соответствующих в предшествовавшем отчетному месяце (**T – 1**) условию $t_opl \leq T_opl$ в отношении к потребленной в месяце (**T – 2**) **ЭЭ**;

$Nop^{(T-2)}$ – содержащий **ИН** потребителей, для которых в месяце (**T – 2**) выполнено условие $t_opl \leq T_opl$ для **ЭЭ**, потребленной в месяце (**T – 3**);

$Nop > T_opl^{(T)}$ – содержащий **ИН** потребителей, соответствующих в отчетном месяце **T** условию $t_opl > T_opl$;

$Nop > T_opl^{(T-1)}$ – содержащий **ИН** потребителей, в предшествовавшем отчетному месяце (**T – 1**) соответствовавших условию $t_opl > T_opl$ для потребленной в месяце (**T – 2**) **ЭЭ**;

$Nop > T_opl^{(T-2)}$ – содержащий **ИН** потребителей, соответствовавших условию $t_opl > T_opl$ в месяце (**T – 2**) (при оплате за потребленную в месяце (**T – 3**) **ЭЭ**).

Определяем требуемые для расчета **A1n** вероятности. Вероятность выполнения потребителями условия $t_opl \leq T_opl$ в отчетном месяце **T**:

$$P^{(T)}(BE) = \frac{Nop^{(T)}}{Ns^{(T)}}. \quad (14)$$

ИН всех потребителей из списка $Nop^{(T)}$, соответствующих условию $ИНн \in Nop^{(T-1)}$, заносим в массив $Nop^{(T-1)*}$, количество **ИН БП** в этом массиве, и получаем:

$$P^{(T)}(SBE1/BE) = \frac{Nop^{(T-1)*}}{Nop^{(T)}} \quad (15)$$

Очевидно, что вероятность противоположного события:

$$P^{(T)}(\overline{SBE1/BE}) = 1 - P^{(T)}(SBE1/BE). \quad (16)$$

ИН всех **БП** из списка $Nop > T_opl^{(T)}$, соответствующих условию $ИНн \in Nop > T_opl^{(T-1)}$, заносим в массив $Nop > T_opl^{(T-1)*}$, количество **ИН БП** в этом массиве, и находим:

$$P^{(T)}(\overline{SBE1/BE}) = \frac{Nop > T_opl^{(T-1)*}}{Nop > Top^{(T)}}. \quad (17)$$

Соответственно, для противоположного события:

$$P^{(T)}(SBE1/BE) = 1 - P^{(T)}(\overline{SBE1/BE}). \quad (18)$$

Далее проверяем, соответствовали ли **БП** из списка $Nop^{(T)}$ условию $t_opl \leq T_opl$ также и в месяц (**T – 2**). Если потребитель из списка $Nop^{(T)}$ соответствует условию $ИНн \in Nop^{(T-2)}$, заносим его **ИН** в массив $Nop^{(T-2)*}$, количество **ИН БП** в этом массиве, после чего определяем:

$$P^{(T)}(SBE2/BE) = \frac{Nop^{(T-2)*}}{Nop^{(T)}}, \quad (19)$$

и вероятность противоположного события:

$$P^{(T)}(\overline{SBE2/BE}) = 1 - P^{(T)}(SBE2/BE). \quad (20)$$

Наконец, выбираем **БП** из списка $Nop > T_opl^{(T)}$, которые в месяц (**T – 2**) соответствовали условию $t_opl > T_opl$: если **БП** из списка $Nop > T_opl^{(T)}$ соответствует условию $ИНн \in Nop > T_opl^{(T-2)}$, заносим его **ИН** в массив $Nop > T_opl^{(T-2)*}$, количество **ИН БП** в массиве, и на основе этих данных находим:

$$P^{(T)}(\overline{SBE2/BE}) = \frac{Nop > T_opl^{(T-2)*}}{Nop > T_opl^{(T)}} \quad (21)$$

и, соответственно, для противоположного события:

$$P^{(T)}(SBE2/BE) = 1 - P^{(T)}(\overline{SBE2/BE}). \quad (22)$$

Далее определяем параметр **A1n** в текущем месяце (**T + 1**) (**T – отчетный** месяц). Для этого, используя найденное в предшествующем месяце значение параметра **A1n** и определенные выше вероятности, находим промежуточное значение условной вероятности в случае соответствия **n**-го **БП** условию $t_opl \leq T_opl$ по отношению к потребленной им в отчетном месяце **ЭЭ**:

$$A1n^* = (A1n * P^{(T)}(SBE1/BE)) / (A1n * P^{(T)}(SBE1/BE) + (1 - A1n) * P^{(T)}(SBE1/BE)) \quad (23)$$

или, в случае $t_opl > T_opl$:

$$A1n^* = (A1n + P^{(T)}(\overline{SBE1/BE})) / (A1n * P^{(T)}(\overline{SBE1/BE}) + (1 - A1n) * P^{(T)}(\overline{SBE1/BE})) \quad (24)$$

после чего, если для **n**-го **БП** в предшествующие месяцы обеспечено $t_opl \leq T_opl$, получаем новое, уточненное значение параметра $A1n^{(T)}$:

$$A1n^{(T)} = (A1n^* * P^{(T)}(SBE2/BE)) / (A1n^* * P^{(T)}(SBE2/BE) + (1 - A1n^*) * P^{(T)}(SBE2/BE)) \quad (25)$$

или, если в предшествующие отчетному месяцы для **n**-го **БП** $t_opl > T_opl$:

$$A1n^{(T)} = (A1n^* * P^{(T)}(\overline{SBE2/BE})) / (A1n^* * P^{(T)}(\overline{SBE2/BE}) + (1 - A1n^*) * P^{(T)}(\overline{SBE2/BE})). \quad (26)$$

При рассмотрении разработанной методики расчета параметра **A1n**, очевидно, что, по мере накопления **РСК** информации о превышении предела допустимого небаланса, все значения вероятностей периодически уточняются, определяясь на основе большего числа наблюдений.

При первом расчете априорная вероятность $P^{(0)}(BE)$ определяется на основании данных о балансе потерь, с **АСКУЭ** по конкретному потребителю. При последующих расчетах параметра **A1n**, априорная вероятность $P(BE)$ в расчетных формулах заменяется апостериорной, соответствующей прошлому, отчетному месяцу.

В заключении отметим, новый подход, к выявлению участка безучетного потребления в электрической сети на основе данных с используемых в секторе малых потребителей систем автоматизации учета с учетом существующих условий (для решения данной задачи используется теория вероятности (теория Байеса), основан на применении расчетных параметров, в формализованном виде отражающих наиболее важные для РСК характеристики учета потребления и анализа потерь электроэнергии бытовыми потребителями. Рассмотрена в общем виде задача оптимизации, скорости процесса принятия решения РСК о наличии безучетного потребления в секторе мелких бытовых потребителей.

Принципиальная схема работы байесовской ЭС состоит в следующем. Первоначально мы имеем априорную вероятность $P(BE)$, которая хранится в базе знаний. Но получив свидетельство $P(SBE)$ и пересчитав эту вероятность по формуле Байеса, мы можем записать ее на место $P(BE)$. Получение очередного свидетельства приводит к новому обновлению (увеличению или уменьшению) этой вероятности. Каждый раз текущее значение этой вероятности будет считаться априорным для применения формулы Байеса. В конечном итоге, собрав все сведения, касающиеся всех гипотез (например, о наличии безучетного потребления), ЭС приходит к окончательному заключению, выделяя наиболее вероятностную гипотезу в качестве результата анализа потерь.

Литература

1. Воротницкий В.Э. и др. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах [Текст] / В.Э. Воротницкий, И.С. Бохмат, Е.П. Татаринцов // Электрические станции. – 1998. – №9.
2. Железко Ю.С. и др. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях [Текст] : руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с. : ил.
3. Кумаритов А.М. Автоматическое определение очередности ограничения мощности и / или отключения неплательщиков в автоматизированной системе управления сбытом электроэнергии [Текст] / А.М. Кумаритов, И.М. Хузмиев // VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» : сб. мат-лов. – Пенза : АНОО «ПДЗ», 2007. – С. 293-296.
4. Структура коммерческих потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению [Текст] / Воротницкий В.Э., Калинин М.А., Апрыткин В.Н., Ареентов Ю.А. // Метрология электрических измерений в электроэнергетике : докл. науч.-техн. семинаров и конф. 1998-2001 / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Загорского Я.Т. – М., 2001. – С. 47-54.
5. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решения [Текст] / И.Г. Черноуцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005.
6. Bayes T., Price R. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. By the late Rev. Mr. Bayes. Philosophical transactions of the royal society of London 53 (1763), 370-418.

Хузмиев Игорь Маратович

Дзгоев Алан Эдуардович

Ключевые слова

Экспертная система; учет потребления и потерь электроэнергии; теория вероятностей; теория Байеса; выявление вероятности безучетного потребления; хищения электроэнергии; электросетевые компании; система поддержки принятия

решения; лицо, принимающее решение (ЛПР); сектор малых бытовых потребителей; электроснабжение региона; информационная система учета.

Кумаритов Алан Мелитонович

РЕЦЕНЗИЯ

В рецензируемой работе авторами рассматривается одна из самых сложных и актуальных задач в электrorаспределительных организациях – задача учета потребления и потерь электроэнергии в секторе мелких бытовых потребителей, а также вопросы выявления безучетного потребления электроэнергии, используя вероятностный подход и теорию Байеса. Также предложен метод решения поставленных задач по анализу потерь электроэнергии в регионе.

Сегодня одними из видов коммерческих потерь электроэнергии являются неплатежи за потребляемую электроэнергию, безучетное потребление электроэнергии и ее хищение, которые искажают статистику электроснабжения и электросбережения, а также приводят к росту небаланса между выработанной и отпущенной электроэнергией. Актуальность проблемы безучетного потребления электроэнергии неизбежно растет вследствие постоянного удорожания электроэнергии и снижения платежеспособности потребителей, а также из-за своей технической доступности и отсутствия эффективных механизмов привлечения к ответственности.

В работе рассмотрены проблемы разработки экспертной системы поддержки принятия решения при выявлении безучетного потребления электроэнергии.

Несомненный интерес представляет разработанная авторами структура системы принятия решения в процессе управления электроснабжением региона.

Статью можно рекомендовать к публикации в рекомендованном Высшей аттестационной комиссией РФ рецензируемом журнале «Аудит и финансовый анализ».

Хузмиев И.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Организация производства и экономика промышленности» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета)

11.2. DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM TO SUPPORT THE DECISION-MAKING TO REVEAL UNREGISTERED ELECTRIC POWER CONSUMPTION AND ANALYZE POWER LOSSES

A.M. Kumaritov, Doctor of Technical Sciences, Prof., Managing Chair of Information Systems in Economy, the North Caucasian of Mining and Metallurgy Institute (the State Technological University), Nor-Alania, Vladikavkaz; I.M. Khuzmiev, Candidate of Technical Sciences Open Joint-Stock Company «the Inter-regional Distributive Network Company of the North Caucasus» North-Ossetian Branch, Vladikavkaz, Monitoring and Analysis Department; A.E. Dzgoev, Doctoral Student, the Research Assistant to Chair of Information Systems in Economy the North Caucasian of Mining and Metallurgy Institute (the State Technological University), Nor-alania, Vladikavkaz

It is established that one of the most difficult and actual problems in the electro distributive organizations, is a problem of electric power consumption and power losses registering in a small household consumers' sector. Questions of developing an expert system supporting decision-making to reveal unregistered electric power consumption using the likelihood approach and the Bayesian algorithm are considered.

Literature

1. V.E. Vorotnitsky, M.A. Kalinkina, V.N. Aprjatkin, J.A. Arentov. Structure of commercial electric power losses and actions for

their decrease. // Metrology of electric measurements in electric power industry. Reports of scientific and technical seminars and conferences 1998-2001. / under the general edition of Prof. Dr. Zagorsky J.T. – M., 2001. p. 47-54

2. V.E. Vorotnitsky, I.S. Bokhmat, E.P. Tatarinov. Decreasing commercial losses in electric power systems. – Power plants, 1998, №9.
3. I.G. Chernorutsky. Methods of decision-making. – St.Peterburg.: «BHV – Peterburg», 2005
4. J.S. Zhelezko, A.V. Artemev, O.V. Savchenko. Calculation, the analysis and rationing of electric power losses in electric networks: The manual for practical calculations. – M: Publishing house NT ENAS, 2004. 280 pages: ill.
5. Thomas Bayes, Richard Price. An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the late Rev. Mr. Bayes. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 53 (1763), 370-418. <http://www.stat.ucla.edu/history/essay.pdf>
6. A.M. Kumaritov, I.M. Khuzmiev. Automatic determining of electric power restriction and-or defaulters switching-off sequence in the automated control system of electric power sale. – The articles collection of the VIII International scientifically-practical conference «Problems of power savings and ecology in industrial and housing-and-municipal complexes». – Penza: ANOO «PDZ», 2007, 293-296.

Keywords

Expert system; electric power consumption and power losses registering; probability theory; the Bayesian algorithm, revealing of a probability of unregistered electric power consumption; Electric power plunders; electric system companies; system supporting decision-making; a person making a decision; small household consumers' sector; power supply of a region; a registering information system.