

Подход к организации технического контроллинга в сфере коммунального теплоснабжения

И.Д. Ратманова, О.М. Гурфова
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
Иваново, Российская Федерация
E-mail: idr@osi.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Неэффективное управление, износ основного оборудования и тепловых сетей, дефицит финансовых средств и, как следствие, растущие тарифы на услуги в коммунальной энергетике обуславливают необходимость разработки системного подхода к организации управления в исследуемой сфере. Мониторинг и оценка состояния энергетических объектов на основе информационно-аналитических систем позволяют системно взглянуть на объект управления, выделить проблемные зоны и обоснованно спланировать программные мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности. «Точечный» энергетический аудит не обеспечивает комплексной оценки состояния систем коммунальной инфраструктуры и может служить основой лишь локальных программ энергосбережения в рамках отдельных субъектов топливно-энергетического комплекса региона.

Материалы и методы: Разработанный метод оценки энергетических объектов (как множества альтернатив) базируется на комбинации методов многокритериальной теории полезности и анализа иерархий.

Результаты: Разработана технология информационной поддержки принятия решений по формированию набора адресных организационно-технических мероприятий, составляющих содержательную основу региональных и муниципальных программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Выводы: Использование полученных результатов направлено на повышение эффективности принятия решений в сфере энергосбережения региона.

Ключевые слова: энергосбережение, технический контроллинг, поддержка принятия решений, информационно-аналитическая система, оценка состояния энергетических объектов.

Approach to technical controlling on thermal engineering facilities

I.D. Ratmanova, O.M. Gurfova
Ivanovo State Power University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: idr@osi.ispu.ru

Abstract

Background: Non-effective management, runout of main equipment and heat networks, lack of funds that result in energy tariff rates growth cause necessity of a system approach to management of the area in question. Power-generating facilities monitoring and assessment based on informational analytical systems allow us to make a system view of the subject to management, to distinguish problem zones and to plan program activities aimed at energy efficiency increasing on a well-grounded basis. It should be noted that power facilities "spot" audit don't provide assessment of heat-and-power generating facilities in general and can serve just as a basis of local energy saving programs within separate subjects of the regional heat-and-power engineering network.

Materials and methods: The multi-alternative (where alternatives mean objects of heat-and-power engineering network) assessment approach was designed based on multi-attribute utility theory method combined with analytical hierarchy process.

Results: We carried out an informational support technology for decision making on target organizing and forming of a technical activities set, that makes a basis for regional and municipal energy saving and energy efficiency enhancing programs.

Conclusions: The obtained results are used to increase decision making efficiency in the field of regional energy saving.

Key words: energy saving, technical controlling, decision making support, informational analytic system, power-generating facilities assessment.

Современная, наиболее широкая трактовка контроллинга [1] представляет его как основанную на технологиях системного анализа метасистему управления, которая действует в рамках единого информационного пространства и предлагает методику ин-

формационной поддержки принятия управленческих решений. Концепция контроллинга применена нами к организации информационно-аналитического сопровождения управления энергосбережением и повыше-

нием энергетической эффективности в сфере коммунального теплоснабжения (рис. 1).

Неэффективное управление, износ оборудования и тепловых сетей, дефицит финансовых средств и, как следствие, растущие тарифы на услуги в коммунальной энергетике обуславливают необходимость организации системного подхода к организации управления в исследуемой сфере. Мониторинг и оценка состояния энергетических объектов на основе информационно-аналитических комплексов позволяют системно взглянуть на объект управления, выделить проблемные зоны и обоснованно спланировать программные мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности. Следует заметить, что управляемый объект обладает большой размерностью. Количество источников тепловой энергии в регионе составляет порядка тысячи объектов.

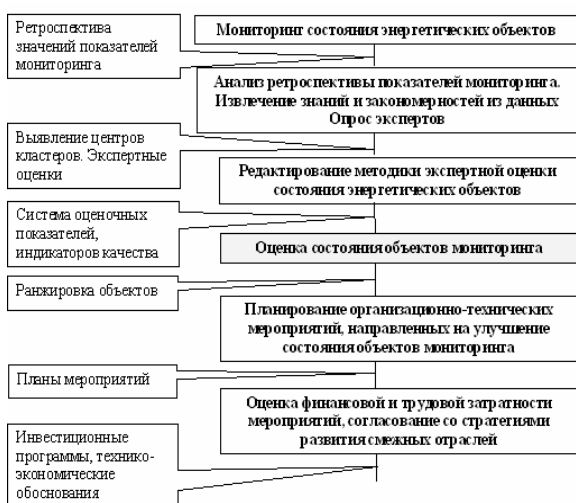


Рис. 1. Структура организации технического контроллинга

К основным особенностям исследуемой предметной области можно отнести следующие:

- большое число оцениваемых объектов – источников тепловой энергии (может изменяться в процессе жизненного цикла);
- значительное количество критериев, влияющих на оценку;
- наличие у критериев оценки конкретных числовых значений.

Выполнен сопоставительный анализ методов многокритериальной оценки альтернатив. В частности, проанализированы: метод анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process, AHP), многокритериальная теория полезности (Multi-Attribute Utility Theory, MAUT), а также ряд производных от MAUT-методов (SMART, ELECTRE и др.) [2–4]. В результате принято решение применить комбинированный метод, включающий в себя:

- 1) иерархическую модель, которая позволяет сгруппировать критерии и оценивать состояние объектов с разной степенью детализации;
- 2) функции полезности для оценки альтернатив по каждому критерию, в случае если для критерия задано конкретное числовое значение;

3) четкий математический алгоритм взвешивания критериев, аналогичный методу АНР (алгоритм Т. Саати).

Таким образом, скомбинированы методы АНР и МАУТ путем применения на нижнем уровне предлагаемого в подходе АНР дерева оценки функций полезности. При этом сравнение альтернатив по критериям осуществляется независимо друг от друга, по общим, унифицированным правилам. В то же время назначение весов критериям производится по алгоритму Т. Саати.

Экспертным путем выделено 19 критериев, образующих иерархическую структуру, показанную на рис. 2.

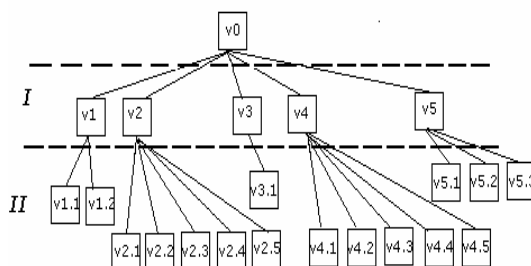


Рис. 2. Иерархическая структура критериев

На вершине иерархии находится целевой критерий, или **интегральная оценка** объекта (v_0). Второй уровень иерархии состоит из пяти **основных направлений оценки** (v_1-v_5). На нижнем уровне находятся **локальные направления оценки**, имеющие, кроме собственно оценки, конкретные числовые значения ($v_{1.1}-v_{5.3}$).

В иерархию вошли следующие основные направления оценки:

- v_1 – оценка схемы теплоснабжения;
- v_2 – оценка эффективности работы котельных;
- v_3 – оценка состояния тепловых сетей;
- v_4 – оценка оснащенности котельной приборами учета;
- v_5 – оценка ресурсоемкости котельной.

В частности, оценка эффективности работы котельных базируется на пяти локальных направлениях, включая:

- $v_{2.1}$ – оценку загруженности котельной;
- $v_{2.2}$ – оценку эффективности использования установленной мощности;
- $v_{2.3}$ – оценку КПД котельной;
- $v_{2.4}$ – оценку тарифа на тепловую энергию;
- $v_{2.5}$ – оценку относительных потерь на собственные нужды.

Оценка корня и любого узла дерева вычисляется по аддитивной формуле

$$\sum_{i=1}^n v_i \cdot w_i, \quad (1)$$

где v_i – i -й потомок данного узла в дереве; w_i – вес i -го потомка относительно данного узла.

Веса пяти критериев первого уровня назначаются с помощью матрицы Т. Саати (табл. 1).

Таблица 1. Матрица парных сравнений

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
v_1	1	1/4	1/2	3	1/4
v_2	4	1	3	7	2
v_3	2	1/3	1	5	1/3
v_4	1/3	1/7	1/5	1	1/6
v_5	4	1/2	3	6	1

В результате обработки матрицы парных сравнений получена формула для определения значения интегральной оценки объекта:

$$v_0 = 0,1v_1 + 0,4v_2 + 0,12v_3 + 0,08v_4 + 0,3v_5, \quad (2)$$

где v_0 – интегральная оценка объекта; v_1 – оценка схемы теплоснабжения; v_2 – оценка эффективности работы источников теплоснабжения; v_3 – оценка состояния тепловых сетей; v_4 – оценка оснащённости источника теплоснабжения приборами учета; v_5 – оценка ресурсоемкости источника теплоснабжения.

Особый интерес представляет оценка критериев второго уровня. Веса критериев второго уровня назначаются таким образом, чтобы веса дочерних критериев одного узла были равны между собой и их сумма была равна 1 (такое решение основано на допущении, что критерии одной группы имеют равную важность).

Оценка выполняется на основе функций полезности. По оси абсцисс функции полезности располагается значение критерия, по оси ординат – оценка от 0 до 1. Процедура построения функции полезности включает два основных этапа:

1. *Определение вида функции.* Эксперт на основе своих представлений о природе и характере изменений возможных значений критерия определяет общий вид кривой функции.

2. *Установление количественных ограничений.* Определяется интервал изменения значений критерия (аргумента функции полезности) и устанавливаются значения функции полезности для нескольких контрольных точек (количественные ограничения определяются на основе нормативно-справочной информации, мнений экспертов, обработки статистики фактических значений критериев, полученной в результате мониторинга).

Примеры функций полезности для критериев «Загруженность котельной» и «Тариф на тепловую энергию» представлены в табл. 2, 3 соответственно.

Таблица 2. Критерий «Загруженность котельной»

Значение критерия
$x_{1,1} = \frac{H_n * 100}{N_p},$
где $x_{1,1}$ – значение загруженности котельной, %; H_n – присоединенная нагрузка, Гкал/ч; N_p – располагаемая мощность котельной, Гкал/ч
Оценка критерия
$v_{1,1}(x_{1,1}) = \begin{cases} x_{1,1}, & 0 \leq x_{1,1} \leq 100, \\ 1 - \frac{x_{1,1} - 100}{x_{min} - 100}, & 100 < x_{1,1} \leq x_{min}, \\ 0, & x_{1,1} > x_{min}, \end{cases}$
где $x_{1,1}$ – значение загруженности котельной, %; $v_{1,1}$ – оценка загруженности котельной
$x_{min} = 150$

На основе аддитивной свертки полученных значений показателей выполняется расчет оценки энергоэффективности теплоснабжающих организаций, муниципального образования и региона в целом. В дальнейшем анализ ретроспективы интегральных оценок позволяет судить об эффективности выполнения программ энергосбережения.

Оценка организации ТЭК определяется по формуле

$$v_{OT} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot w_i, \quad (3)$$

где v_i – оценка i -го источника теплоснабжения, находящегося на балансе организации ТЭК; w_i – вес i -го источника теплоснабжения в выработке данной организации ТЭК; n – количество источников теплоснабжения у организации ТЭК.

Вес вычисляется по формуле

$$w_i = \frac{Q_{год_i}}{Q_{год_{OT}}}, \quad (4)$$

где $Q_{год_i}$ – годовая выработка тепловой энергии i -м источником теплоснабжения, Гкал; $Q_{год_{OT}}$ – годовая выработка тепловой энергии организацией ТЭК, Гкал.

Таблица 3. Критерий «Тариф на тепловую энергию»

Значение критерия			
$x_{2.5}$ – получено непосредственно из данных мониторинга			
Оценка критерия			
$v_{2.5} = \begin{cases} 1, & 0 < x_{2.5} < x_{max}, \\ 1 - \frac{x_{2.5} - x_{max}}{x_{min} - x_{max}}, & x_{max} < x_{2.5} < x_{min}, \\ 0, & x_{2.5} > x_{min}, \end{cases}$ <p>где $x_{2.5}$ – значение загрузки котельной, %; $v_{2.5}$ – оценка загрузки котельной</p>			
x_{max}		x_{min}	
Экспертная оценка	Статистика	Экспертная оценка	Статистика
Предельный уровень тарифа для региона/МО	Среднее по котельным муниципалитета	Полтора-кратное превышение предельного уровня	Максимум по котельным муниципалитета

Оценка муниципального образования (МО), где зарегистрированы организации ТЭК, получается методом аддитивной свертки по формуле:

$$V_{MO} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij} \cdot w_{ij}, \tag{5}$$

где v_{ij} – оценка j -го источника теплоснабжения, находящегося на балансе i -й организации ТЭК, зарегистрированной на территории данного МО; w_{ij} – вес j -го источника теплоснабжения, находящегося на балансе i -й организации ТЭК, в выработке всех организаций ТЭК в данном МО; m – количество организаций ТЭК на территории муниципального образования; n – количество источников теплоснабжения на балансе i -й организации ТЭК.

Вес вычисляется по формуле

$$w_{ij} = \frac{Q_{годij}}{Q_{годМО}}, \tag{6}$$

где $Q_{годij}$ – годовая выработка тепловой энергии j -м источником теплоснабжения, находящимся на балансе i -й организации ТЭК, Гкал; $Q_{годМО}$ – годовая выработка тепловой энергии в муниципальном образовании.

Годовая выработка определяется по формуле

$$Q_{годМО} = \sum_{i=1}^m Q_{OT_i}, \tag{7}$$

где Q_{OT_i} – годовая выработка тепловой энергии i -й организацией ТЭК, зарегистрированной на территории данного МО, Гкал; m – количество организаций ТЭК на территории муниципального образования.

Общая интегральная оценка региона определяется по формуле

$$V_{рег} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij} \cdot w_{ij}, \tag{8}$$

где v_{ij} – оценка j -го источника теплоснабжения, находящегося на балансе i -й организации ТЭК, зарегистрированной в данном регионе; w_{ij} – вес j -го источника теплоснабжения, находящегося на балансе i -й организации ТЭК, в выработке всех организаций ТЭК в данном регионе; m – количество организаций ТЭК в регионе; n – количество источников теплоснабжения у i -й организации ТЭК.

Вес вычисляется по формуле

$$w_{ij} = \frac{Q_{годij}}{Q_{годр}}, \tag{9}$$

где $Q_{годij}$ – годовая выработка тепловой энергии j -м источником теплоснабжения, находящимся на балансе i -й организации ТЭК, Гкал; $Q_{годр}$ – годовая выработка тепловой энергии в регионе:

$$Q_{годр} = \sum_{i=1}^m Q_{OT_i}, \tag{10}$$

где Q_{OT_i} – годовая выработка тепловой энергии i -й организацией ТЭК, находящейся в данном регионе, Гкал; m – количество организаций ТЭК в регионе.

Методика оценки объектов коммунальной инфраструктуры функционирует в рамках информационно-аналитической системы ведения топливно-энергетических балансов региона (ИАС ТЭБ) [5]. ИАС ТЭБ внедрена в ряде областей Российской Федерации (в частности, в Ивановской, Ярославской, Оренбургской областях, Республике Татарстан). К настоящему времени накоплена большая ретроспектива данных по показателям топливно-энергетических балансов субъектов и объектов ТЭК, которая используется при определении значений ряда критериев.

В частности, ИАС ТЭБ поддерживает ежегодный мониторинг показателей работы котельных. Разработана форма «ТЭК (котельная)», которая в достаточно подробном виде позволяет охарактеризо-

вать состояние котельной и эффективность ее работы в отчетном году.

В ИАС ТЭБ поддерживается сбор информации посредством корпоративного портала. Собранная информация интегрируется в хранилище данных. Посредством аналитического сервиса поддерживается многомерный анализ накопленной информации. При этом осуществляется формирование нерегламентированных выборок с оформлением результатов поиска посредством деловой и когнитивной графики (рис. 3, 4).

Кроме того, разработан шаблон унифицированного аналитического отчета по оценке энергетической эффективности системы теплоснабжения в разрезе муниципальных образований области. При этом на основе рассмотренной методики выполняется анализ и ранжирование котельных по техническому состоянию в рамках каждого городского округа и муниципального района.

По результатам экспертной оценки определяется план адресных энергосберегающих мероприятий, структурированный по следующим основным направлениям:

- анализ ситуации и разработка проектов оптимизации схем теплоснабжения населенных пунктов;
- проведение комплекса работ по техническому перевооружению, модернизации, оптимизации режимов работы оборудования;
- проведение комплекса работ по реконструкции тепловых сетей;
- оснащение предприятий современными техническими средствами учета и контроля на всех этапах выработки, передачи и потребления топливно-энергетических ресурсов;
- мониторинг потребления и эффективного использования энергетических ресурсов, нормирование потребления энергетических ресурсов.

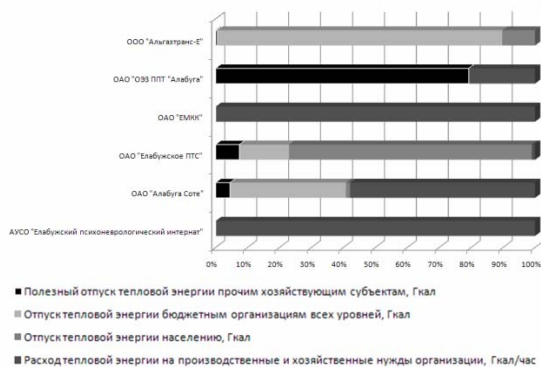


Рис. 3. Диаграмма потребления тепловой энергии в исследуемом муниципалитете

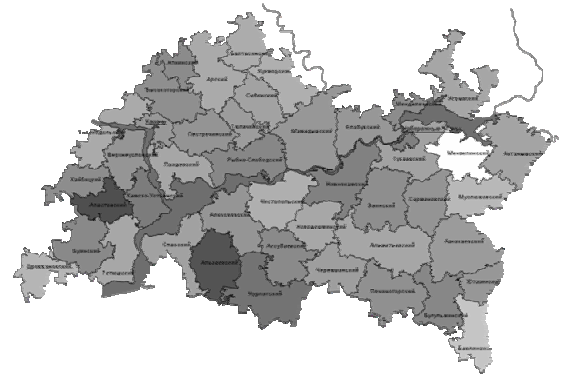


Рис. 4. Интегральная оценка эффективности работы источников тепловой энергии региона (более светлый оттенок базового цвета соответствует более высокой оценке энергетической эффективности источников тепловой энергии)

По результатам оценки можно судить об эффективности выполнения программных мероприятий в сфере энергосбережения, а также планировать новые программы. В частности, на основе ретроспективы показателей, накопленной в хранилище ИАС ТЭБ Ивановской области (ведение ИАС ТЭБ осуществляется в Департаменте экономического развития и торговли Ивановской области), определены направления развития коммунальной теплоэнергетики городов и районов Ивановской области. Принятые решения вошли в документ «План развития и реконструкции топливно-энергетического комплекса Ивановской области на период 2007–2012 годы».

Реализованная методика оценки состояния системы коммунального теплоснабжения позволяет системно взглянуть на исследуемую предметную область, объективно оценить ее состояние, выделить наиболее проблемные зоны и определить перечень адресных мероприятий, направленных на совершенствование системы. Ежегодно проводимая оценка состояния энергетических объектов обеспечивает объективной информацией процесс текущего планирования программных мероприятий, а также позволяет судить об эффективности принятых ранее решений.

Список литературы

1. Хан Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга: пер. с нем. / под ред. А.А. Турчака, Л.Г. Головача, М.Л. Лукашевича. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 800 с.
2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
3. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: учеб. пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: Ред. журн. «Известия вузов. Электромеханика». – 2002. – 276 с.

4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархии: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

5. Железняк Н.В., Ратманова И.Д. Средства поддержки принятия решений по повышению энергетической эффективности промышленности региона / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2011. – 140 с.

References

1. Khan, D. *Planirovanie i kontrol': kontseptsiya kontrollinga* [Planning and control; controlling concept]. Moscow, Finansy i statistika, 1997. 800 p.

2. Larichev, O.I. *Teoriya i metody prinyatiya resheniy, a takzhe Khronika sobytiy v volshebnykh stranakh* [Decision making

theory and techniques. A chronicle of events in fairy lands]. Moscow, Logos, 2000. 296 p.

3. Chernomorov, G.A. *Teoriya prinyatiya resheniy: Uchebnoe posobie* [Theory of decision making. Study guide]. Yuzhno-rossiyskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, redaktsiya zhurnala «Izvestiya vuzov. Elektromekhanika», 2002. 276 p.

4. Saati, T. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhii* [Decision Making: The Analytical Hierarchy Process]. Moscow, Radio i svyaz', 1989. 316 p.

5. Zheleznyak, N.V., Ratmanova, I.D. *Sredstva podderzhki prinyatiya resheniy po povysheniyu energeticheskoy effektivnosti promyshlennosti regiona* [Supportive tools for decision making to enhance energy efficiency of regional industry]. Ivanovo, 2011. 140 p.

Ратманова Ирина Дмитриевна,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина»,
профессор кафедры программного обеспечения компьютерных систем,
телефон (4932) 26-98-34.

Гурфова Ольга Михайловна,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина»,
инженер-программист информационно-вычислительного центра,
телефон (4932) 26-98-33.