

# Автоматизированная система энергоаудита города

Г.Г. Гребенюк, С.М. Никишов, В.В. Скопин

**Аннотация.** Описываются принципы построения, разработки и реализации автоматизированной информационной технологии энергоаудита системы теплоснабжения города. Приводятся расчетные характеристики для выполнения энергоаудита, особенности сбора и обработки исходных данных, программной среды информационного взаимодействия системы с базами данных энергоснабжающих предприятий.

## Введение

В условиях дефицита энергии в России особое значение приобретает выполнение энергоаудита городских систем энергоснабжения. Результаты аудита используются для принятия управленческих решений, направленных на развитие и повышение эффективности этих систем за счет изменения схем энергоснабжения, строительства и реконструкции.

Сбор информации о параметрах функционирования многочисленных объектов энергоснабжения, распределенных по большой территории и принадлежащих различным предприятиям, ее обобщение представляются сложной организационно-технической задачей, решение которой в масштабе крупного города возможно только при создании соответствующей автоматизированной информационной технологии.

Такая система должна учитывать следующие особенности взаимодействующей с ней информационной среды:

- исходная для энергоаудита информация находится в распределенных базах данных теплоснабжающих предприятий города, которым принадлежат локальные системы энергоснабжения или их составляющие (источники энергии, передающие сети, сети потребления);

- эти предприятия используют различные типы СУБД, структуры данных, системы классификации и кодирования; таким образом, сбор

и обработка данных по энергоаудиту выполняется в неоднородной программно-технической среде города.

В данной статье рассматриваются принципы создания автоматизированной технологии проведения энергоаудита теплоснабжения города и описание особенностей ее реализации.

## 1. Постановка задачи

Принципы создания автоматизированной технологии проведения энергоаудита города рассмотрим на примере условной схемы теплоснабжения от районной тепловой станции (РТС), показанной на Рис.1.

На этой схеме изображены технологические цепочки передачи тепловой энергии от районной тепловой станции (РТС) к центральному тепловому пункту (ЦТП) и от ЦТП к строениям. Строения обеспечиваются от ЦТП горячим водоснабжением и энергией на отопление и вентиляцию.

Схему теплоснабжения можно представить в виде графа (Рис.2), содержащего три подмножества вершин  $Va$ ,  $Vb$  и  $Vc$ ,

где  $Va$  – подмножество вершин, соответствующих источникам энергии,

$Vb$  – подмножество вершин, соответствующих преобразователям энергии (ЦТП),

$Vc$  – подмножество вершин, соответствующих строениям города (нагрузка).

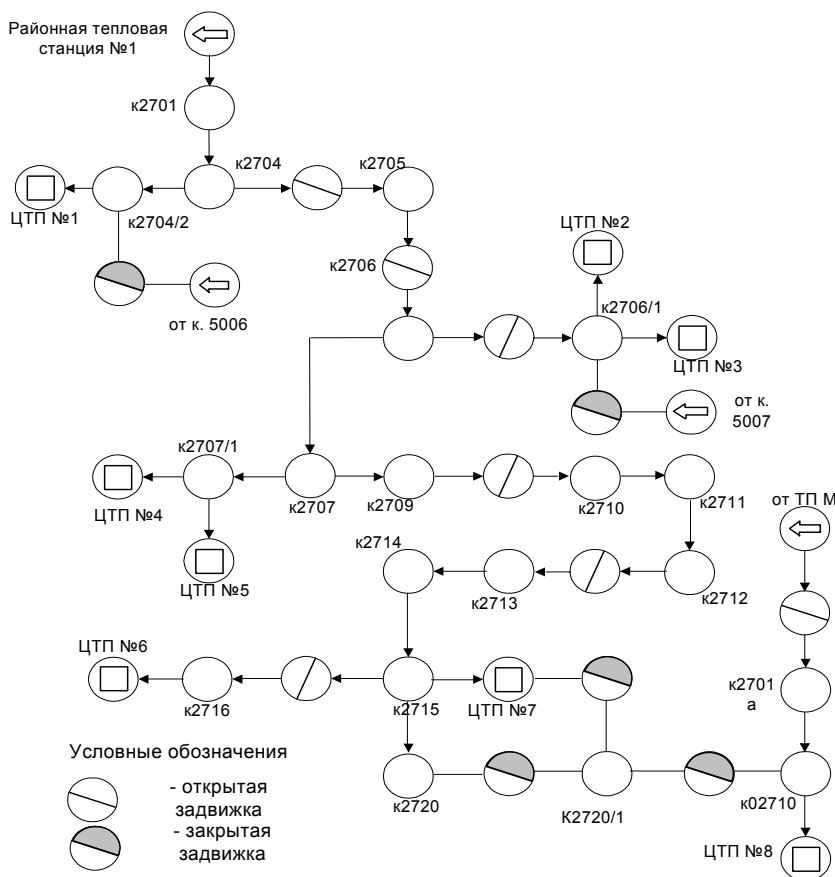


Рис. 1. Условная схема теплоснабжения

$$Va \cup Vb \cup Vc = V.$$

Сопоставим каждой вершине подмножеств  $Va$ ,  $Vb$  и  $Vc$  переменные величины  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно, где  $X = (x_1, \dots, x_r)$  – переменные, соответствующие измеренным значениям произведенной энергии за выбранный интервал времени,  $r$  – число источников тепловой энергии.

$$Y = (y_1^1, \dots, y_d^1, y_{d+1}^2, \dots, y_p^2, \dots, y_{m+1}^r, \dots, y_t^r) -$$

переменные, соответствующие измеренной тепловой энергии, полученной каждым преобразователем (ЦТП) от источника за выбранный интервал времени,  $d$  – число преобразователей (ЦТП), присоединенных к 1-му источнику,  $(p-d)$  – присоединенных ко 2-му источнику и т.д.,  $t$  – число преобразователей в городе.

$Z = (z_{11}^1, \dots, z_{1p}^1, z_{2(p+1)}^1, \dots, z_{2b}^1, \dots, z_{c_j}^1, \dots, z_{k_i}^r, \dots, z_{t_h}^r)$  – переменные, соответствующие измеренной тепловой энергии, полученной каждым

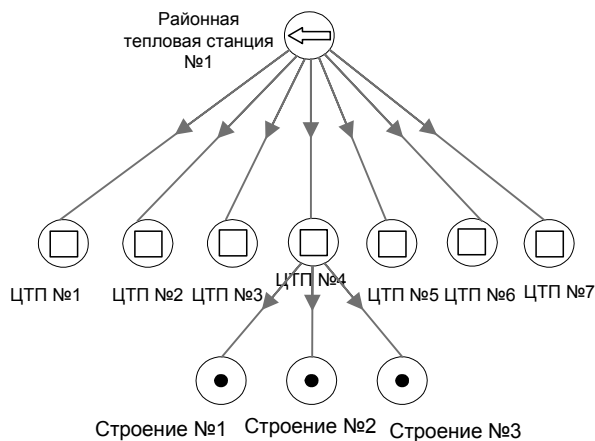


Рис. 2. Граф схемы теплоснабжения

строением города от преобразователей (ЦТП),  $z_{ij}^k$  – тепловая энергия, полученная  $j$ -м строением, присоединенным к  $i$ -му преобразователю, подключенному к  $k$ -му источнику,  $h$  – число строений в городе.

Каждой переменной  $z_{ij}^k$  поставим в соответствие переменную  $f_{ij}^k$ . Множество переменных  $F = (f_{11}^1, \dots, f_{1p}^1, f_{2(p+1)}^1, \dots, f_{2b}^1, \dots, f_{c_j}^1, \dots, f_{ki}^r, \dots, f_{th}^r)$  соответствует заданным значениям энергии, потребляемой строениями. Эта величина определяется проектными характеристиками каждого строения и зависит от температуры наружного воздуха.

Каждой переменной  $x_i$  поставим в соответствие переменную  $g_i$ . Множество переменных  $G = (g_1, \dots, g_r)$  соответствует значениям проектной энергии источников за выбранный интервал времени.

Тогда задача оценки эффективности системы распределения энергии (по объему потерь энергии) и обеспеченности энергией потребителей формулируется следующим образом:

для схемы теплоснабжения, представленной в виде графа на Рис. 2, необходимо определить систему показателей [1]:

1. коэффициент эффективности системы распределения тепла для города

$$K_s^z = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^t \sum_{l=1}^h z_{jil}^i / \sum_{i=1}^r x_i;$$

2. коэффициент эффективности системы распределения от  $i$ -го источника энергии до присоединенных к нему потребителей

$$K_s^i = \sum_{j=1}^a \sum_{l=1}^b z_{jil}^i / x_i,$$

где  $a$  - количество ЦТП, присоединенных к  $i$ -му источнику,

$b$  - количество строений, подключенных к ЦТП;

3. коэффициент эффективности системы распределения энергии от  $j$ -го ЦТП до присоединенных к нему строений

$$K_s^{jumn} = \sum_{l=1}^m z_{jil}^i / y_j^k,$$

где  $m$ -количество строений, присоединенных к  $j$ -му ЦТП;

4. коэффициент запаса энергии (мощности) в каждой  $i$ -ой локальной системе теплоснабжения

$$K_s^i = g_i / \sum_{j=1}^a \sum_{l=1}^b f_{jil}^i;$$

5. коэффициент обеспеченности энергией каждого строения (удовлетворения спроса)

$$K_{ij}^k = z_{ij}^k / f_{ij}^k.$$

С использованием приведенных выше формул вычисляются показатели эффективности системы распределения энергии, дефицита и обеспеченности энергией. При низких значениях коэффициента эффективности (больших потерях энергии) рассматривается детальная информация о потерях энергии в отдельных частях системы от источника до ЦТП и от ЦТП до присоединенных строений.

Для каждого строения вычисляется обеспеченность тепловой энергией с учетом средней суточной температуры наружного воздуха.

## 2. Автоматизированная технология сбора и обработки данных

### 2.1. Формирование «балансовых» узлов

Базы данных (БД) энергоснабжающих предприятий содержат информацию об энергии, измеренной приборами учета. Приборы учета устанавливаются в источниках энергии, ее преобразователях (ЦТП) и строениях. Минимальный интервал накопления информации, достаточный для энергоаудита - сутки. Дальнейшее обобщение проводится за месяц, квартал, год.

Для расчета балансов определим понятие «балансового» узла как точки сравнения входящих и выходящих потоков энергии от любых объектов сети.

«Балансовый» узел может соответствовать физическому объекту, если сравнение происходит в узле схемы с входящими и выходящими из него потоками энергии. «Балансовый» узел может быть виртуальным, если производится сравнение потоков, задаваемых произвольным образом специалистом по энергоаудиту. При создании множества «балансовых» узлов используется электронная схема и ее топологическая матрица. В последней определены связи ЦТП с источниками тепловой энергии и связи строений с ЦТП.

Подмножество балансовых узлов для локальной системы теплоснабжения от РТС изображено на схеме Рис.3.

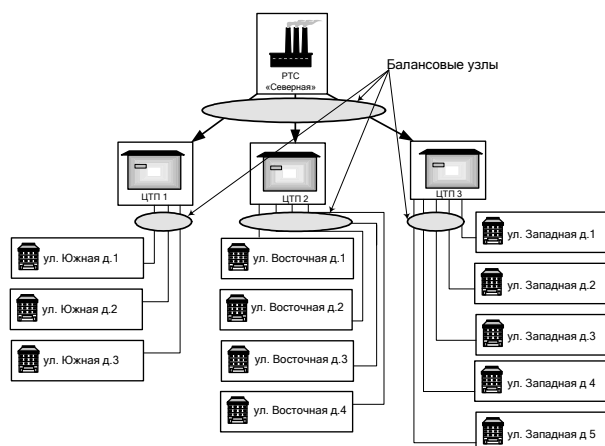


Рис.3. Схема балансовых узлов системы теплоснабжения

«Балансовые» узлы могут формироваться в источнике, например, для сравнения энергии, произведенной каждым котлом с энергией, полученной от сжигания топлива.

## 2.2. Расчеты в «балансовых» узлах

*Состав данных,  
поступающих в «балансовый» узел.*

Информационные параметры, измеряемые на источнике тепловой энергии (РТС, ТЭЦ, котельной):

- расход условного топлива (газ, мазут, уголь);
- теплотворная способность топлива;
- произведенная тепловая энергия;
- тепловая энергия, отпущенная потребителям;
- температура наружного воздуха.

Вычисляемые параметры:

- энергия, полученная от сжигания топлива.

Информационные параметры, измеряемые на преобразователе тепловой энергии (ЦТП):

- тепловая энергия, принятая из магистрали;
- температура наружного воздуха.

Информационные параметры, измеряемые на потребителе тепловой энергии (здание, сооружение, прочие виды нагрузок):

- тепловая энергия, принятая из разводящей сети.

*Расчеты в «балансовых» узлах*

В «балансовых» узлах выполняются расчеты за сутки:

- баланса энергии между РТС (выход в сеть) и подключенными к нему ЦТП;

-баланса энергии между каждым ЦТП и присоединенными к нему строениями;

-баланса энергии в системе «РТС - присоединенные строения».

Например, если источником энергии отпущено в сеть 125 Гкал, а строениями получено 95 Гкал, то эффективность системы равна 0.76. Сравнение этих показателей для всех источников тепловой энергии города позволяет выявить «слабые» звенья в теплоснабжении города.

Для каждого строения вычисляется коэффициент обеспеченности тепловой энергией. Если расчетное значение тепловой энергии, приведенное к температуре наружного воздуха, составляет для данного типа строения 10 Гкал, а фактическое, измеренное приборами учета, 8.2 Гкал, то коэффициент обеспеченности равен 0.79. Расчетное значение тепловой энергии вычисляется исходя из максимальной проектной часовой нагрузки с учетом времени подаваемого тепла и с коррекцией по фактической температуре по формуле:

$$Q = q_{\max} * n * (t_{\phi} - t_{\text{н}}) / (t_{\text{р}} - t_{\text{рн}}) \text{ Гкал,}$$

где  $q_{\max}$  - максимальная проектная часовая нагрузка;

$n$  - число часов подачи тепла в сутки;

$t_{\phi}$ ,  $t_{\text{р}}$  - температура воздуха внутри помещения фактическая и расчетная (18 °С);

$t_{\text{н}}$  - средняя температура наружного воздуха за рассчитываемый период;

$t_{\text{рн}}$  - расчетная температура наружного воздуха (-26 °С).

## 2.3. Информационный обмен в неоднородной программной среде

Как говорилось во введении, теплоснабжающие предприятия и организации, занятые сбором и обработкой информации, поступающей от приборов учета потребления тепловой энергии, используют различные типы СУБД, структуры данных, системы классификации и кодирования.

Автоматизированная система (АС) энергоаудита города осуществляет информационный обмен с базами данных АС предприятий, т.е. функционирует в неоднородной программно-технической среде города.

При обмене данными возможны два режима передачи: синхронный, когда все изменения

данных распространяются немедленно, и асинхронный, когда по отношению к этим изменениям применяется алгоритм "запомнить и передать", а момент передачи выбирается по заданному регламенту.

Расчет балансов производится с периодичностью в сутки и более. При таких периодах целесообразно использовать асинхронную передачу, которая не требует наличия постоянно действующей сети с высокой пропускной способностью между разными организациями.

При реализации АС энергоаудита города разработчиками большое внимание уделено созданию единой системы нормативно-справочной информации и обменного формата таблиц передаваемой информации.

Серьезной проблемой является обеспечение корректного ведения нормативно-справочной базы на разных серверах. Самый простой вариант архитектуры, заведомо гарантирующий отсутствие конфликтов, предполагает, что для любого тиражирования определенных таблиц нормативно справочной информации выбирается один сервер, который является ведущим.

Ему разрешается изменять элементы данных, всем остальным позволяет только считывать информацию. Этот сервер устанавливается в организации, осуществляющей городской энергоаудит (Центр).

Для передачи данных по балансам теплоснабжения (от организаций в центр) с целью гарантированного отсутствия конфликтов выбирается последняя (по времени передачи) модификация [2].

В разработанной системе в Центре расположена СУБД Oracle. Для получения информации от удаленных серверов разнородных БД используется трехуровневое программное обеспечение собственной разработки (на основе технологии MIDAS), обеспечивающее доступ к данным через ODBC, BDE, ADO.

#### 2.4. Нормативно-справочная база системы сбора и обработки данных

Необходимым условием для создания городской АС энергоаудита является наличие единой системы нормативно-справочной информации – справочников и классификаторов объектов городского хозяйства, участвующих в процессе теплоснабжения. Основой информа-

ционного ресурса является учетная база (реестр объектов городского хозяйства), основанная на едином классификаторе видов материальных объектов. Фрагмент классификатора представлен на Рис.4. В этой же учетной базе находится единый справочник измеряемых параметров.

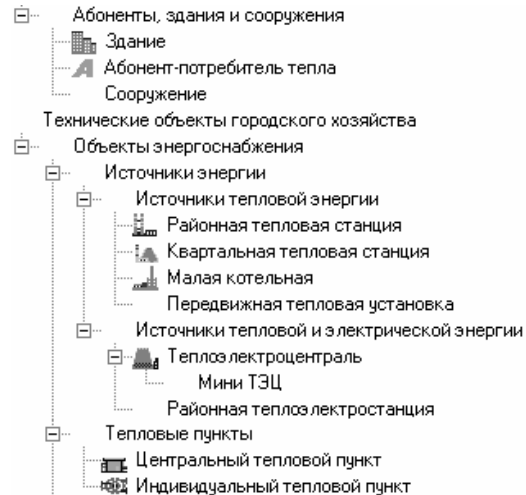


Рис.4. Фрагмент классификатора

В соответствии с этим классификатором составляется список объектов теплоснабжения и формируется список измеряемых параметров.

На Рис.5 приведены три фрагмента справочника объектов: источники (Рис. 5а), тепловые пункты (Рис. 5б), строения (Рис. 5в)

№№	Реестр	Карта	Схема	Наименование
1	10000002	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	РТС Курьяново
2	10000031	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	РТС Бабушкино-1
3	10000032	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	РТС Бабушкино-2
4	10000033	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	РТС Бирюлево
5	10000034	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	РТС Волжская-ЗИЛ
6	10000035	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	РТС Жулебино

а)

№№	Реестр	Карта	Схема	Наименование
5	10000357	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ТП 2Д (РТС Коломенская)
6	10000366	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ТП 1П (РТС Коломенская)
7	10000367	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ТП 3Д (РТС Коломенская)
8	10000368	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ТП 4Д (РТС Коломенская)
9	10000369	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ТП 5Д (РТС Коломенская)

б)

№№	Реестр	Карта	Схема	Наименование
59	10198203	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Авангардная ул. д. 4
60	10198204	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Авангардная ул. д. 6 к.1
61	10198205	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Авангардная ул. д. 6 к.2
62	10198206	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Авангардная ул. д. 6 к.3

в)

Рис.5. Фрагменты справочник объектов

Фрагмент справочника параметров приведен в таблице.

Код	Наименование параметра	Единица измерения
101	Электрическая энергия	КВт
102	Расход газа	тыс.м <sup>3</sup>
103	Теплотворная способность газа	ГКал/тыс*м <sup>3</sup>
104	Средняя температура наружного воздуха	Град,С
105	Тепловая энергия	ГКал

## 2.5. Программное обеспечение. Реализация автоматизированной информационной технологии энергоаудита

Рассмотренная технология энергоаудита реализована в разработанной автоматизированной системе контроля балансов в теплоснабжении города. Эта система создана в соответствии с планом информатизации Правительства Москвы, установлена в Департаменте топливно-энергетического хозяйства Москвы и находится в стадии внедрения. Программное обеспечение системы содержит модуль обработки информации об объемах тепловой энергии, произведенной, переданной и потребленной объектами теплоснабжения города. Данные об объемах энергии находятся в локальных базах данных теплоснабжающих предприятий. В соответствии с регламентом информационного взаимодействия эти данные поступают в базу данных системы контроля балансов. Программное обеспечение системы интегрировано с автоматизированной системой технического учета объектов теплоснабжения [3], что позволяет пользователю получить информацию о технических характеристиках этих объектов, их расположении на электронной карте и схеме сети теплоснабжения. Программное обеспечение автоматизированной системы энергоаудита города интегрировано с системой учета объектов теплоснабжения [3] и содержит модуль обработки семантических и графических данных, модули по-

лучения, хранения и обработки информации, поступающей из локальных баз данных предприятий о производстве и потреблении тепловой энергии объектами теплоснабжения. В качестве СУБД используется Oracle 10g.

## Заключение

Использование автоматизированной системы энергоаудита города позволяет получить ряд важных характеристик энергоснабжения города, таких как

- запасы генерирующих мощностей в районах города (для подключения дополнительных нагрузок);
- эффективность локальных систем энергоснабжения;
- обеспеченность потребителей тепловой энергией и т.д.

Применение описанной автоматизированной системы совместно с системой технического учета объектов энергоснабжения [3] позволяет дополнить данные энергоаудита данными о техническом состоянии объектов энергоснабжения и создает информационную основу для принятия стратегических решений руководителями муниципального хозяйства по развитию городской энергосистемы.

## Литература

1. Г.Г.Гребенюк, Н.В.Лубков, С.М.Никишов. Оценка состояния и функционирования систем энергоснабжения // АнТ. 2006. №5. С.151-162.
2. Г.Г. Гребенюк, С.М. Никишов Проблемы интеграции автоматизированных информационных систем в неоднородной программно-технической среде // Датчики и системы. - 2003.- № 11. - С.5 - 11.
3. Технический учет в системе информатизации органов отраслевого управления городским хозяйством. А.В. Антонов, Г.Г. Гребенюк, А.А. Крыгин, Н.В. Лубков // Муниципальные геоинформационные системы: Материалы XII Всеросс. конф.- Обнинск, 2005.

**Гребенюк Георгий Григорьевич.** Родился в 1942 году. Окончил МИФИ в 1966 году. Кандидат технических наук (1978 г.). Автор 42 научных работ, из них 20 статей, 22 тезисов докладов на семинарах и конференциях. Область научных интересов: автоматизация и информатизация организационно-технических систем. Ведущий научный сотрудник Института проблем управления РАН им. В.А.Трапезникова.

**Никишов Сергей Максимович.** Родился в 1946 году. Окончил МАИ в 1970 году. Кандидат технических наук (1984 г.). Автор 20 научных работ, из них 12 статей, 8 тезисов докладов на семинарах и конференциях. Область научных интересов: автоматизация и информатизация организационно-технических систем. Старший научный сотрудник Института проблем управления РАН им. В.А.Трапезникова.

**Скопин Виталий Валерьевич.** Родился в 1977 году. Окончил МГТУ «Станкин» в 2001 году. Автор 3 научных работ, из них 1 статья, 2 - тезисы докладов на семинарах и конференциях. Область научных интересов: автоматизация и информатизация организационно-технических систем. Научный сотрудник Института проблем управления РАН им. В.А.Трапезникова.