

УДК 669.162

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Акад. АИН РФ, докт. техн. наук, проф. ЛИСИЕНКО В. Г.

*Уральский государственный технический университет*

Инж. АНИСИМОВ Д. Л.

*НПП «Уралтехнология»*

В настоящее время к числу первоочередных относится проблема эффективного использования энергоресурсов. Для ее решения разработана федеральная целевая программа «Энергосбережение России» на 1998–2005 гг. Аналогичные программы приняты и в других странах СНГ. Важную роль в их реализации играют средства учета энергии и энергоносителей. Не осуществляя реальной экономии последних, они, тем не менее, являются той первоосновой, без которой проведение любых энергосберегающих мероприятий оказывается бессмысленным.

Современный уровень развития измерительной и вычислительной техники, современные представления об информатизации и автоматизации технологических процессов, а также специфика рассматриваемой предметной области определяют тот практический подход к учету энергоносителей, при котором он осуществляется при помощи распределенных информационно-измерительных систем [1]. Но если в отношении учета электрической энергии задача создания таких систем, их математического и программного обеспечения решается достаточно успешно, то об учете тепловой энергии такого сказать нельзя [2].

Достаточно развит «локальный» приборный учет тепловой энергии, технической основой которого является теплосчетчик — прибор, измеряющий параметры теплоносителя и определяющий по алгоритму значения энергии [3]. При современных масштабах и темпах развития приборного учета парадоксальным является то, что в данной области до сих пор не создана соответствующая нормативно-техническая база, а предлагаемые в литературе и применяемые на практике алгоритмы вычисления тепловой энергии весьма разнообразны и порою спорны [4, 5]. Большинство из них к тому же ориентированы на двухтрубные и закрытые системы теплоснабжения, каких в России и странах СНГ сравнительно мало [6].

Следующая проблема возникает при интеграции приборов локальных узлов учета тепловой энергии и теплоносителя в распределенные информационные системы. Упомянутое выше отсутствие стандартов на теплосчетчики ведет к разнообразию не только их вычислительных, но и их информационных моделей, различию в методах и принципах взаи-

модействия с системным окружением. Это в свою очередь приводит к неоднородности и уникальности каждой системы, требует создания оригинального алгоритмического и программного обеспечения (АО и ПО) сбора и распределенной обработки информации. Кроме того, потенциал развития системы не заложен в ней изначально, и любое развитие возможно только путем доработки, а зачастую и переработки созданного ранее АО и ПО.

Представлялось необходимым систематизировать существующий опыт организации учета тепловой энергии и теплоносителя, на основании чего разработать алгоритмическое и программное обеспечение учета, которое позволило бы эффективно решать следующие задачи:

- 1) измерение тепловой энергии и параметров теплоносителя в системах теплоснабжения и теплопотребления, содержащих произвольное количество трубопроводов в произвольной конфигурации;
- 2) осуществлять распределенную обработку результатов измерений;
- 3) развитие функций учета с использованием потенциала изначально созданных алгоритмов и программ.

Результатом работы явилось создание требуемых алгоритмов учета тепловой энергии и теплоносителя, а также их программная реализация и практическое внедрение в продукции научно-производственного предприятия «Уралтехнология». Ниже кратко описываются основные положения, характеризующие решение перечисленных выше задач.

**Модель организации учета – модель распределенной обработки информации.** Как уже отмечалось выше, для учета тепловой энергии и теплоносителя используется распределенная информационная система. Традиционно для описания таких систем применяют многоуровневые иерархические модели (рис. 1), являющиеся, по сути, лишь моделями направлений и приоритетов передачи данных. Кроме того, такие модели отражают в основном территориальную, а не логическую распределенность системы и достаточно жестко ориентированы на определенный аппаратный состав, что ясно уже из названий уровней (рис. 1). Взаимодействие различных процедур обработки данных, сосредоточенных в конкретных физических устройствах, сводится к обмену данными между

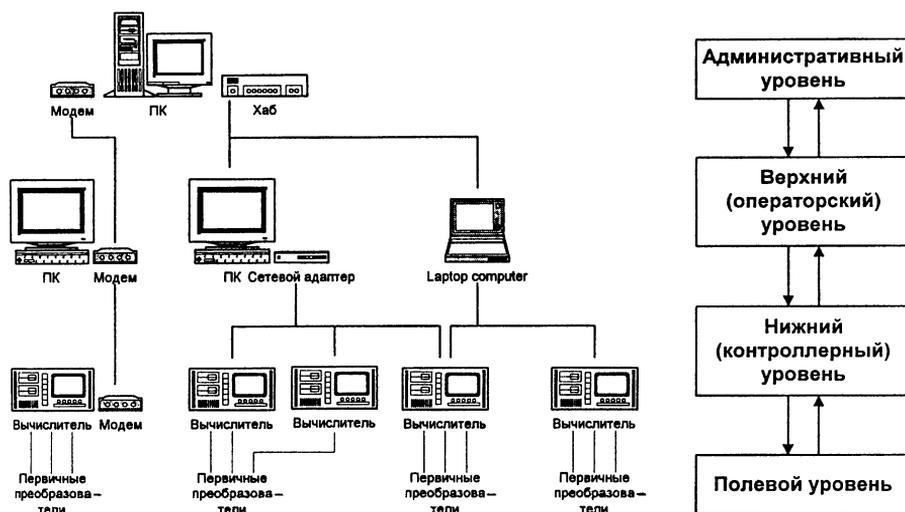


Рис. 1. Иерархическая модель организации учета тепловой энергии (территориально распределенная система)

этимися устройствами по каналам связи, в связи с чем все усилия разработчика, использующего такую модель, сводятся к созданию протоколов управления звеном данных. В то же время использование для такого рода процедур Эталонной модели взаимосвязи открытых систем (ЭМ ВОС) [7] позволяет независимо от характера и структуры коммуникационных каналов, а также от физической сущности и размещения устройств, в которых сосредоточены логические зоны системы, остановиться на процедурах прикладного уровня и процессах пользователя (терминология ЭМ ВОС), собственно и определяющих модель распределенной (в логическом смысле) обработки информации. Логическая распределенность подразумевает размещение разных элементов системы в различных логических зонах, в каждой из которых сосредоточена строго определенная часть как процедуры обработки, так и самих данных, и каждая из которых связана с другими зонами при помощи определенных протоколов [8]. Таким образом, приходим к модели организации учета (МОУ), структура которой показана на рис. 2.

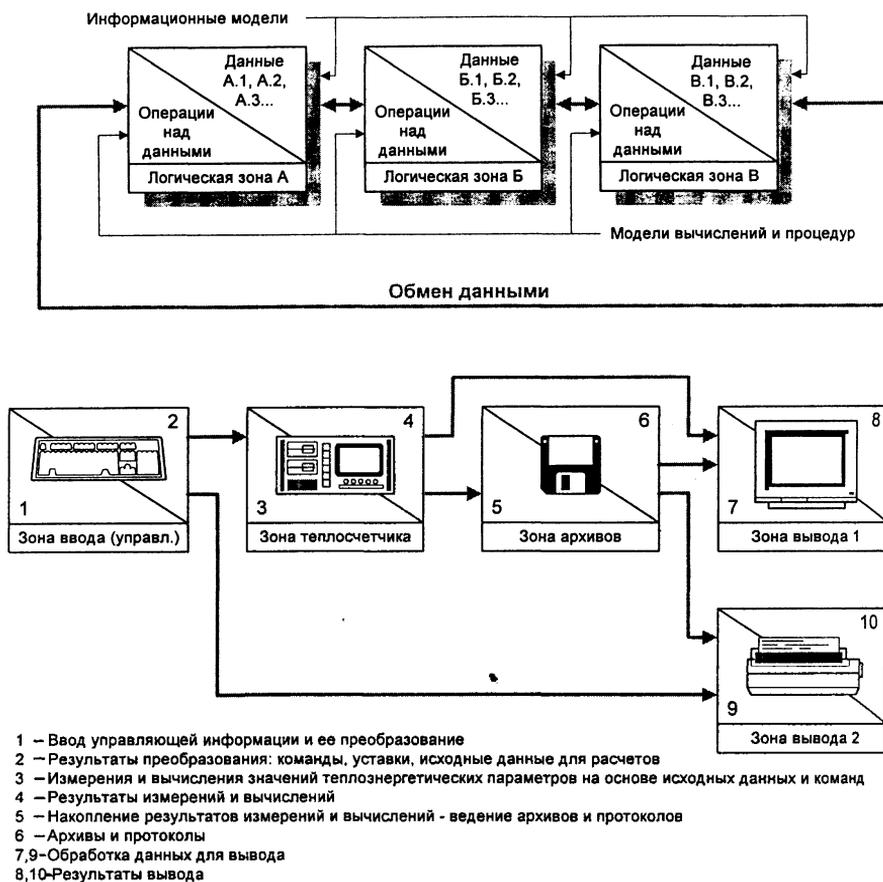


Рис. 2. Модель организации учета – логически распределенная система

Внутри модели функционируют теплосчетчики, понимаемые здесь абстрактно как логические зоны, средоточие алгоритмов и процедур по определению значений параметров теплоносителя и вычислению тепловой энергии. Дополнительная обработка предоставляемой теплосчетчиками информации производится в других, внешних по отношению к

ним, логических зонах. Сущность обработки важна только с точки зрения данных зон и определяется ими полностью. Такой подход позволяет в дальнейшем достаточно просто и без какого бы то ни было вмешательства в алгоритмы и программы уже функционирующих устройств развивать информационные функции МОУ, вводя в ее состав новые зоны обработки данных.

Вообще же каждая из логических зон МОУ представлена, во-первых, комплексом реализуемых в ней алгоритмов, т. е. математической моделью, характеризующей внутреннюю сущность зоны, а также моделью информационной, которая определяет ее «внешне», т. е. для других зон. Очевидно, что алгоритмы и математические модели уникальны для каждой из зон различного назначения, модель же информационная едина для всех зон МОУ, чем, собственно, и обеспечивается возможность их взаимодействия «с ходу».

**Модели и алгоритмы зон теплосчетчиков.** Основная функция системы (модели) учета тепловой энергии и теплоносителя — измерения соответствующих физических величин, реализуется в зонах теплосчетчиков. Значения тепловой энергии вычисляются здесь на основе результатов измерений температуры, давления и расхода теплоносителя. Разработанная модель теплосчетчика позволяет использовать различные расчетные соотношения для определения количества тепловой энергии в зависимости от структуры системы теплоснабжения (телопотребления).

В общем случае реализуемая формула для расчета тепловой энергии  $Q_i$ , отпущенной потребителю за время  $\tau = (\tau_1 - \tau_0)$  по  $i$ -й паре трубопроводов системы теплоснабжения, имеет вид

$$Q_i = \int_{\tau_0}^{\tau_1} [E_{1i} \pm E_{2i}] dt, \quad (1)$$

где  $E_{1, 2i} = G_{1, 2i} (h_{1, 2i} - h_{хв})$ ,  $G_{1, 2i}$  — взятый с соответствующим знаком массовый расход теплоносителя в подающем  $G_{1i}$  или обратном  $G_{2i}$  трубопроводе  $i$ -й пары трубопроводов системы ( $i = 1, 2, \dots$ );  $h_{1, 2i}$  — значения энтальпии теплоносителя в подающем или обратном трубопроводе  $i$ -й пары соответственно;  $h_{хв}$  — энтальпия холодной воды.

Формула (1) имеет достаточно общий характер и позволяет реализовать схему расчета тепловой энергии практически для любой конфигурации тепlopункта, содержащего до 4–6 трубопроводов.

В частности, при двухтрубном подключении формула для расчета отпущенной тепловой энергии на источнике теплоты или тепловой энергии, полученной потребителем в открытой системе теплоснабжения, принимает хорошо известный вид

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} [G_1(h_1 - h_{хв}) - G_2(h_2 - h_{хв})] dt. \quad (2)$$

На практике для удобства последующей обработки результатов измерений часто принимают  $t_{хв} = 0$ . Выражение (2) запишем

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} [G_1 h_1 - G_2 h_2] dt. \quad (3)$$

В случае закрытой системы теплоснабжения соотношение (2) принимает особенно простой вид, соответствующий формуле (3.2) Правил учета тепловой энергии и теплоносителя [3]:

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} G_1 [h_1 - h_2] dt. \quad (4)$$

Тот или иной алгоритм вычисления тепловой энергии формируется при определении для зоны теплосчетчика исходных данных: количества точек измерения и характера взаимозависимости трубопроводов системы теплоснабжения (теплопотребления), на которых данные точки расположены. Реально процесс такого определения сводится к процессу программирования реализующей алгоритмы микропроцессорной системы при помощи входящих в ее состав средств ввода–вывода. В силу ограниченности объема статьи структура модели зоны теплосчетчика здесь не раскрывается.

**Информационные модели логических зон.** Возможности распределенной обработки данных, полученных в результате измерений и описанных выше вычислений, обеспечиваются рядом базовых принципов и механизмов, являющихся основой информационной модели логической зоны МОУ. К числу таких следует отнести принцип выделения объектов информации, принцип систематической организации таких объектов, механизмы запроса абстрактного источника и вывода в абстрактный приемник, а также механизм автонастройки. Вкратце сущность названного можно описать следующим образом.

Все данные, существующие внутри МОУ, могут и должны быть организованы в виде объектов информации, каждый из которых определяется собственным уникальным именем, характеризующим его назначение и применение. Копии объектов могут передаваться между логическими зонами МОУ, но «оригинал» любого из них хранится и модифицируется только в одной определенной логической зоне.

Объекты внутри каждой зоны организованы в виде систематик (taxonomies) – термин взят из информационного проектирования. Это упорядоченные системы категорий, используемые для организации информации. Систематики можно представлять в виде деревьев, начиная с общих групп (стволов) и разделяя их на меньшие, более узкие группы (рис. 3). Конечным элементом систематики является объект информации, имеющий имя и состоящий из неделимых в данном рассмотрении элементов. Таким объектом может быть мгновенное значение какого-либо измеряемого или вычисляемого теплотеметрического параметра (расход, температура теплоносителя, тепловая мощность), массив его архивных значений и т. п.

Зоны МОУ взаимодействуют, обмениваясь своими информационными объектами: при этом каждая из них может являться либо источником, либо приемником информации. Источник может инициировать вывод в «неизвестный» ему абстрактный приемник в некоторый тем или иным образом заданный момент времени, проиндицировав для своего

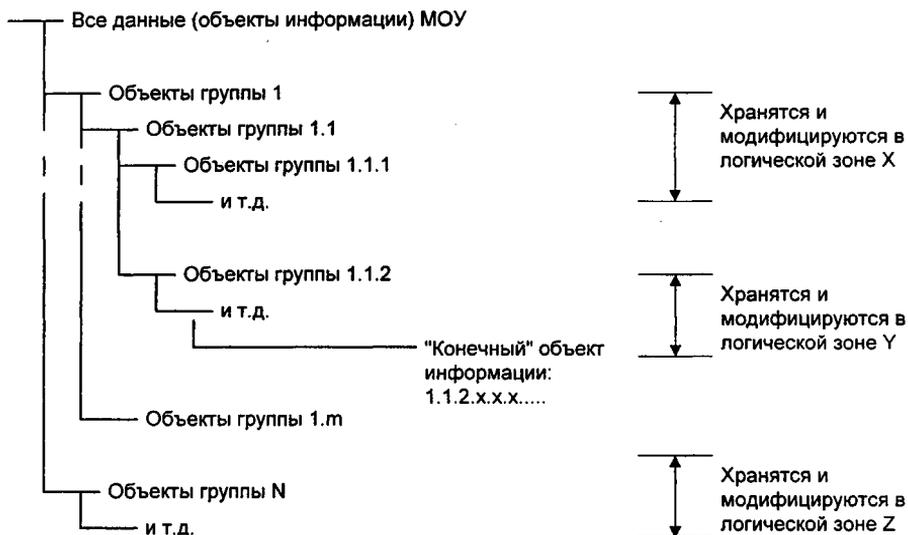


Рис. 3. Организация данных в виде систематизированных объектов информации

системного окружения — для всех или только для определенных зон MOU — «желание» вывести тот или иной объект или группу объектов (рис. 4а). Тот из потенциальных приемников, для которого определены

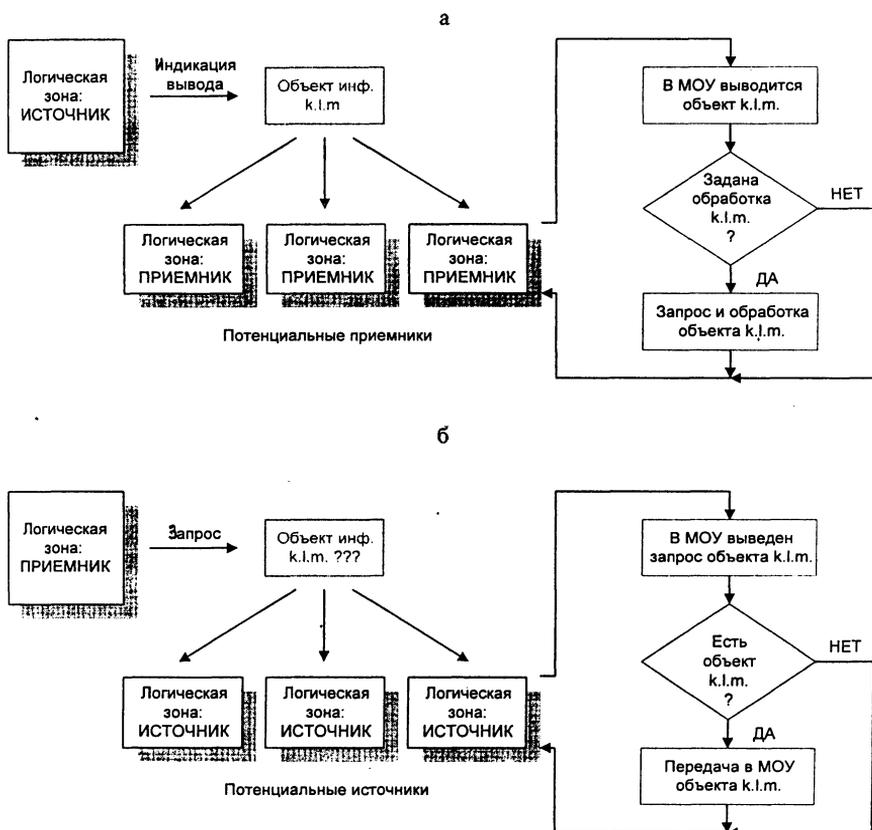


Рис. 4. Иллюстрация механизмов вывода в абстрактный приемник и запроса абстрактного источника

функции обработки проиндицированной информации, начинает ее запрос у источника. За счет такого механизма реализуется возможность ввода в систему новых функций обработки информации путем введения нового приемника, источник же остается при этом совершенно независим от сущности реализуемых последним процедур.

Аналогичным образом и приемник может инициировать запрос требуемого ему объекта информации у неизвестного абстрактного источника (рис. 46) — тем самым обеспечивается возможность расширения МОУ «упрощенными» моделями зон, способными использовать для реализации собственных функций вычислительные и информационные ресурсы других зон независимо от их внутренней сущности. Наибольший интерес здесь представляет то, каким образом приемник обнаруживает требуемый источник или, точнее, источник требуемого объекта информации, а также то, как приемник выясняет состав групп объектов информации у источника, проиндицировавшего необходимость вывода группы. Происходит это при помощи механизма автонастройки, который является фундаментом взаимодействия информационных моделей зон и обеспечивает развитие МОУ в целом.

Названный механизм возможен благодаря применению принципов выделения объектов информации и их систематической организации. Разработанная структура имени объекта, напрямую связанная с ветвлением деревьев систематик (рис. 3), а также использование единого для системы набора значений полей имен позволяют любой зоне последовательно обнаруживать в рамках всей МОУ «интересующие» ее категории объектов, постепенно сужая область поиска. Образно данный процесс можно сравнить с процессом поиска нужной книги по каталогам большой библиотеки. Наиболее наглядно автонастройка проявляется, будучи программно реализована для обменивающихся данными теплосчетчиков (микропроцессорных устройств) и персонального компьютера. При вводе в систему нового теплосчетчика компьютер автоматически распознает и представляет на дисплее структуру и состав данных, измеряемых, вычисляемых и накапливаемых этим прибором.

**Практическая реализация.** Все описанные выше теоретические разработки программно реализованы для микропроцессорных средств и использующих персональные компьютеры систем учета тепловой энергии и теплоносителя, производимых в НПП «Уралтехнология», Екатеринбург, Россия. Так, например, алгоритмы расчета тепловой энергии являются основой ПО теплорегистратора КАРАТ (№ 15655-96 в Государственном реестре средств измерений РФ), универсального вторичного прибора, способного осуществлять учет энергии и теплоносителя в системах теплоснабжения/теплопотребления практически любой конфигурации, включающих в себя 4–6 трубопроводов (рис. 5). Также в КАРАТе реализована описанная выше информационная модель логической зоны МОУ — за счет этого прибор способен эффективно взаимодействовать с внешними устройствами обработки информации (периферией), реализующими аналогичные информационные модели. К таким устройствам относятся контроллеры вывода на печать КСП-1, КСП-2, пульт переноса данных «Луч-30». Программное обеспечение всех названных микропроцессорных устройств реализовано на языках ассемблера и Си с использованием компиляторов фирмы IAR Systems.

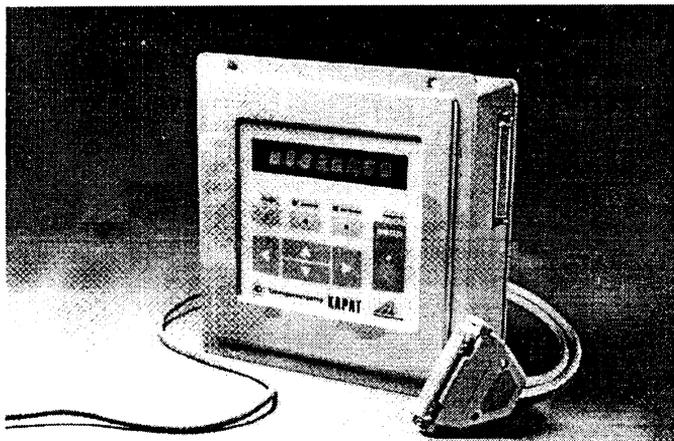


Рис. 5. Теплорегистратор KARAT

Описанные выше принципы и механизмы обмена данными реализованы и в ряде программ для персональных компьютеров, осуществляющих сбор и обработку информации теплорегистраторов KARAT. Это программы «Карат – Экспресс», «Карат – Экспресс II» и «Теплопункт», созданные в среде Borland Delphi.

Сфера практического применения названных устройств и программных продуктов динамично расширяется, что убедительно доказывает жизнеспособность разработанных моделей и алгоритмов учета тепловой энергии теплоносителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. B o n d e K. Heat Metering: An opinion on the prospects for the future // News from DBDH. – 1999. – № 2.
2. В ы в о д ы и предложения участников семинара «Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии, теплоэнергии, воды и газа объектов жилищно-коммунального хозяйства» от 24 ноября 1998 г.
3. П р а в и л а учета тепловой энергии и теплоносителя / П-683. Главгосэнергонадзор. – М.: Изд-во МЭИ, 1995.
4. Р я б и н к и н В. Н. Проблемы обеспечения приборного измерения тепловой энергии и теплоносителя. Коммерческий учет энергоносителей: Материалы IX междунар. науч.-практ. конф. / Сост. В. И. Лачков. – СПб.: Политехника, 1999.
5. Б о р и с е н к о А. В., З а х а р о в В. А. Аттестация алгоритмов расчета теплофизических параметров воды // Шестая уральская науч.-практ. конф. по метрологии: Тез. докл. – Екатеринбург, 1998.
6. Л а р и о ш к и н А. Н. Проблемы учета тепла // Энергосбережение и экология: Информ. бюл. – 1998. – Дек.
7. L o r i n H. Aspects of Distributed Computer Systems. – John Wiley&Sons, 1980.
8. М О С 7498. Системы обработки информации. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель.
9. Л и с и е н к о В. Г., А н и с и м о в Д. Л. Разработка системы автоматического учета и регулирования тепловой энергии. Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов (ИКАПП-97): Сб. докл. 4-й междунар. конф. – Т. 2: Измерение и информационные технологии в производственных процессах / Под ред. П. И. Госькова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997.
10. А н и с и м о в Д. Л., П о н о м а р е в Ю. И. Методика выполнения измерений комбинированными теплосчетчиками на базе теплорегистратора KARAT. Информационные технологии и электроника: Тез. докл. 3-й всерос. науч.-техн. конф.
11. А н и с и м о в Д. Л., У д и л о в С. В. Программное обеспечение верхнего уровня систем сбора информации на базе теплорегистраторов KARAT // Шестая уральская науч.-практ. конф. по метрологии: Тез. докл. – Екатеринбург, 1998.