

На правах рукописи

Бурмистров Алексей Владимирович

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ  
ДИАГНОСТИКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ  
УПРАВЛЕНИЯ  
(на примере объектов теплоснабжения)

Специальность: 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2008

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Мазин Анатолий Викторович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Заслуженный деятель науки и техники РФ,  
Лауреат Государственной премии СССР  
**Шахтарин Борис Ильич**

кандидат технических наук, доцент  
**Шабанов Александр Константинович**

Ведущая организация: **Обнинский государственный техниче-  
ский университет атомной энергетики  
(ИАТЭ)**

Защита диссертации состоится 10 марта 2009 г. в 14:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 при Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э. Баумана, по адресу 107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского Государственного Технического Университета им. Н.Э. Баумана.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять в адрес совета университета.

Автореферат разослан « 3 » февраля 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

к.т.н., доцент **Иванов В.А.**

## **Общая характеристика работы**

### ***Актуальность проблемы***

Важнейшей задачей при создании систем управления, особенно объектами жизни-обеспечения, такими как системы теплоснабжения, является построение эффективной системы контроля и диагностирования (СД).

Высокоэффективные системы диагностирования выполняют функции определения области отказа, для сокращения времени восстановления и повышения коэффициента готовности микропроцессорных средств управления техническими объектами – объектами диагностирования (ОД). Эффективность СД во многом определяется составом и свойствами используемых технических средств диагностирования (ТСД).

В процессе создания СД знания о них, закладываемые в алгоритмы, программы и технические средства диагностирования, часто оказываются недостаточными для обеспечения требуемого уровня готовности ОД в процессе его эксплуатации. Это особенно характерно для таких ОД, как, например, автоматизированные системы управления объектами теплоснабжения.

Непрерывное усложнение современных объектов теплоснабжения и возрастание ответственности решаемых ими задач выдвигают на передний план проблему эффективной организации и эксплуатации систем управления этими объектами

Основные достижения в области технической диагностики в России представлены в работах П.П. Пархоменко, В.П. Калявина, П.С. Давыдова, М.Ф. Каравая и др. Научные школы Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН и Ленинградского электротехнического института добились значительных успехов в области технической диагностики. За рубежом техническую диагностику исследовали Ramamoorthy S., Armtroug D., Eithelberger E.

Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время в России и за рубежом создано большое количество систем диагностирования различного назначения, но пока еще отсутствуют публикации, содержащие рекомендации по последовательности и объему действий для решения задач диагностики в области микропроцессорного управления, в частности, объектами теплоснабжения.

Разработка ТСД микропроцессорных средств управления объектами исследуемой области до сих пор ведется без какой-либо систематизации и анализа процесса взаимодействия объекта диагностирования и ТСД в СД, большинство технических решений принимается на интуитивной основе.

Перед тем, как приступить к построению ТСД, необходимо обоснованно сформулировать требования к техническим средствам, которые будут служить исходной информацией для дальнейшего процесса их проектирования в системе диагностирования. Требования к ТСД определяются на этапе составления технического задания (ТЗ). От правильности задания требований зависит практическая реализуемость технических средств диагностирования. Основная сложность, возникающая при построении ТСД, состоит в том, что аналитиче-

ское описание либо статистическое наблюдение зависимостей между входными и выходными параметрами СД затруднено, а зачастую невозможно. Анализ практикуемых подходов к проектированию показывает, что этап формирования ТЗ является наиболее слабым местом с точки зрения формализации методов принятия решений.

В диссертационной работе исследуются вопросы определения и обоснования параметров безотказности, контролепригодности, ремонтпригодности и организации взаимодействия ОД и ТСД с целью повышения эффективности эксплуатации СД.

Таким образом, решение задач диссертационной работы, направленных на повышение эффективности эксплуатации, диагностики и контроля сложных систем управления объектами повышенной опасности, таких как объекты теплоснабжения, актуально и является важной научно-технической проблемой.

### ***Цель и основные задачи работы***

Целью диссертационной работы является создание модели СД, методики и алгоритмов, позволяющих обеспечить эффективный контроль и диагностику микропроцессорных систем управления применительно к объектами теплоснабжения.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- 1) разработка классификации способов взаимодействия ОД и ТСД с точки зрения режимов использования и диагностирования систем управления исследуемых объектов;
- 2) построение модели СД, описывающей организацию взаимодействия ОД и ТСД;
- 3) разработка формализованных процедур, алгоритмов и программ для определения требований к ТСД с учетом организации процесса диагностирования в каждом из специфичных режимов работы объекта;
- 4) применение разработанных формализованных процедур, алгоритмов и программ для решения практических задач по определению требований к техническим средствам в системах диагностирования микропроцессорных средств управления объектами в исследуемой области.

### ***Методы исследования***

Для решения поставленных задач в данной работе использовался математический аппарат теории множеств, теории графов, теории марковских процессов, методы теории вероятности, теории массового обслуживания, линейного программирования, теории технической диагностики.

***Научная новизна*** диссертации заключается в следующем:

1. Разработана классификация способов взаимодействия ОД и ТСД, позволяющая систематизировать решение задач определения состава и параметров СД в системе управления объектами исследуемого класса.
2. Разработан метод построения моделей взаимодействия ОД и ТСД для микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения, позво-

ляющий, в отличие от существующего словесного описания СД, получить математическую модель СД, на основе теории марковских процессов.

3. Обоснован в качестве критерия оценки эффективности ТСД показатель готовности СД для восстанавливаемых технических объектов, включающий в себя показатели безотказности, контролепригодности, ремонтпригодности, организации использования и диагностирования объекта.

4. Разработаны следующие методики определения эффективности СД средств управления объектами исследуемого класса:

а) методика определения целесообразности режима прогнозирования работоспособности СД объектов теплоснабжения;

б) методика определения требований к безотказности, контролепригодности и ремонтпригодности ТСД;

в) методика определения оптимального числа каналов ТСД и организации диагностирования исследуемых комплексов управления.

5. Разработаны алгоритмы и программы для определения требований к ТСД. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие достоверность полученных результатов.

#### **Практическая новизна:**

1. Созданы методики построения модели СД и определения требований к ТСД, применение которых при разработке СД микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения позволяет повысить эффективность проектирования исследуемых систем.

2. Разработано программное обеспечение для получения аналитического выражения показателя готовности ( $K_r$ ), которое позволяет повысить научно-практическую обоснованность принимаемых решений при проектировании СД средств управления объектами теплоснабжения.

3. Предложены модели и алгоритмы, реализованные в виде программной инструментальной среды проектирования микропроцессорных систем управления комплексами учета топливно-энергетических ресурсов на объектах теплоснабжения.

4. Получены результаты для микропроцессорных систем управления теплоснабжением на предприятиях ФГУП «60 Арсенал» Министерства обороны России, ОАО «Людиновский агрегатный завод» и ОАО «Людиново теплосеть», которые подтверждают эффективность разработанной методики и алгоритмов.

#### **На защиту выносятся следующие положения**

1. Классификация способов взаимодействия ОД и ТСД систем управления объектами исследуемого класса для решения задач определения состава и параметров СД, в зависимости от условий их эксплуатации и диагностирования.

2. Методика построения модели СД микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения.

3. Алгоритм и программа получения аналитического выражения показателя готовности.

4. Методика определения требований к безотказности, контролепригодности и ремонтпригодности ТСД.

5. Методика определения целесообразности режима прогнозирования работоспособности СД микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения.

### **Апробация работы**

Содержание отдельных разделов и диссертации в целом было доложено:

1) на семинарах и заседаниях кафедры «Компьютерные системы и сети» МГТУ им. Н.Э. Баумана;

2) на V международном симпозиуме «Интеллектуальные системы (INTELS'2002)» 15 – 17 апреля 2002г. МГТУ им. Н.Э. Баумана (Калуга 2002г.);

3) на III, IV, V всероссийских научно-технических конференциях «Новые информационные технологии в системах связи и управления» 2004 – 2006 г.г. ФГУП КНИИТМУ (Калуга 2005 – 2006 г.г.);

4) на VII международном симпозиуме «Интеллектуальные системы (INTELS'2006)» (Краснодар 2006 г.).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 10 работ, отражающих основные результаты работы.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 89 наименований и приложений. Работа содержит 165 страниц машинописного текста содержательной части, 41 рисунок, 11 таблиц и 8 страниц библиографии.

### **Содержание работы**

В диссертационной работе исследуются характеристики системы диагностирования микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения. Такого рода СД представляют собой сложные динамические системы со значительной распределенной структурой (датчики, каналы передачи данных, контроллеры управления, узлы мониторинга), состоящие из большого числа элементов с различными принципами действия, режимами работы, процедурами обслуживания и условиями эксплуатации. Система диагностирования представлена как совокупность объекта диагностирования и технических средств диагностирования согласно схеме, приведенной на рис.1.

**В разделе «Введение»** обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, перечислены полученные в диссертации новые результаты, их практическая ценность, представлены положения, выносимые на защиту, и описана структура диссертации.

**В первой главе** исследуются вопросы классификации СД объектов теплоснабжения. Классификация выполняется: во-первых, по временному порядку периодов использования и диагностирования СД; во-вторых, по виду ситуации, характеризующей взаимодействие ОД и ТСД с точки зрения реакций на приход заявки на диагностирование во время использования ОД по целевому назначе-

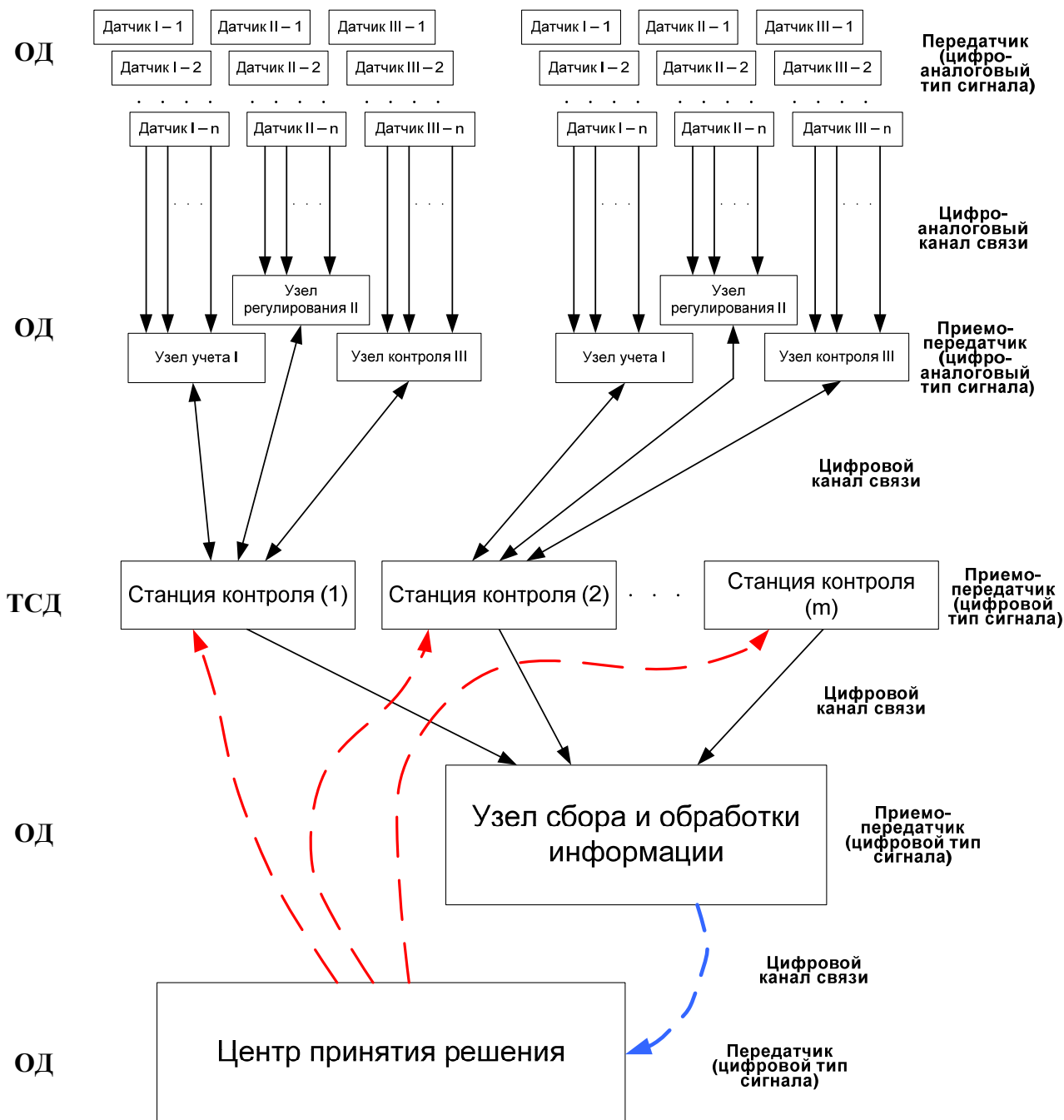


Рис. 1

нию и заявки на использование ОД во время режима диагностирования; в-третьих, по способу организации СД; в-четвертых, по организации самоконтроля ТСД.

Объекты диагностирования, с точки зрения характера использования, могут быть подразделены на объекты непрерывного и периодического использования. Объекты непрерывного использования могут выводиться из рабочего режима только с целью диагностирования и, при необходимости, с целью восстановления. Объекты периодического использования применяются по целевому назначению (функционируют) периодически, а в перерывах между режимами использования (рабочими режимами) выключены или находятся в дежурном

режиме, ожидая прихода заявки на использование.

В свою очередь, объекты периодического использования подразделяются на объекты регулярно-периодического использования, у которых длительности использований и перерывов между двумя последовательными использованиями регулярны (постоянны), и объекты случайно-периодического использования, у которых эти длительности являются случайными величинами.

Микропроцессорные средства управления объектами теплоснабжения могут диагностироваться как непрерывно, так и периодически. Периодическое диагностирование, в свою очередь, может быть как регулярно-периодическим, когда интервалы времени между двумя последовательными диагностированиями регулярны, так и случайно-периодическим, когда эти интервалы представляют собой случайные величины. Интервал времени между двумя последовательными диагностированиями в дальнейшем будем называть периодом диагностирования.

Диагностирование и восстановление микропроцессорных систем управления объектами теплоснабжения могут осуществляться как в рабочем режиме ОД (функциональное диагностирование), так и в специальном режиме. Специальный режим называется диагностическим, в нем ОД не используется по целевому назначению.

Пример структуры диагностического режима для работоспособного ОД, состоящего из одной системы и обслуживаемого абсолютно надежными ТСД, при решении ими задачи проверки работоспособности и совокупности задач поиска дефектов, изображен на диаграмме 1 (рис. 2). Структура диагностического режима прогнозирования работоспособности изображена на диаграмме 2. Структура диагностического режима, показанная на диаграмме 3, относится к случаю, когда выполняется решение совокупности задач проверки работоспособности  $Z_1$  и поиска дефектов  $Z_2$  при наличии в неработоспособном ОД только одного дефекта и абсолютно надежных ТСД.

**Во второй главе** приводится метод построения полумарковской модели взаимодействия ОД и ТСД, которая представляет собой ориентированный граф  $G$  переходов системы диагностирования из состояния в состояние. Построение начинается с изучения условий эксплуатации СД (режимов использования и диагностирования), объекта и технических средств и особенностей процесса их взаимодействия в системе диагностирования, которые являются исходной информацией для построения модели.

Для описания процесса переходов СД из состояния в состояние, граф  $G$  характеризуется множеством вершин  $L$  и множеством ветвей  $P$ :  $G=G(L,P)$ .

Вершины графа  $G(L,P)$  соответствуют возможным несовместным состояниям СД, а характеризующие эти состояния значения стационарных вероятностей  $\pi_i (0 \leq \pi_i < 1; i = \overline{1,m})$ , пребывания СД в соответствующих состояниях без учета длительности пребывания в этих состояниях, образуют множество  $\pi = \{\pi_i\}$ . Ветви графа  $G(L,P)$  характеризуют возможные переходы СД





Диаграмма 1

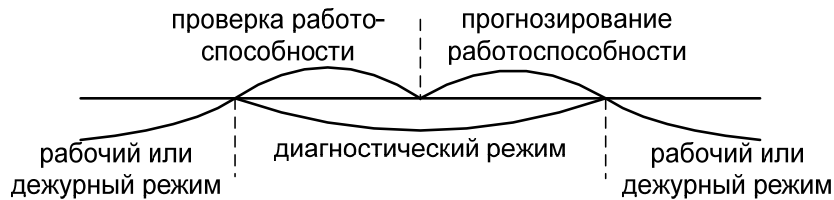


Диаграмма 2

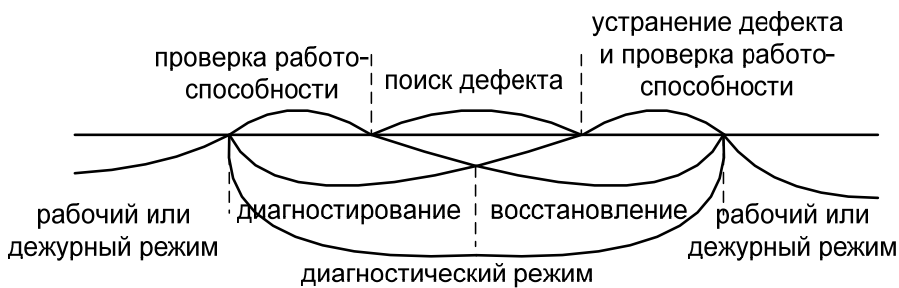


Диаграмма 3

Рис. 2 Виды диагностического режима

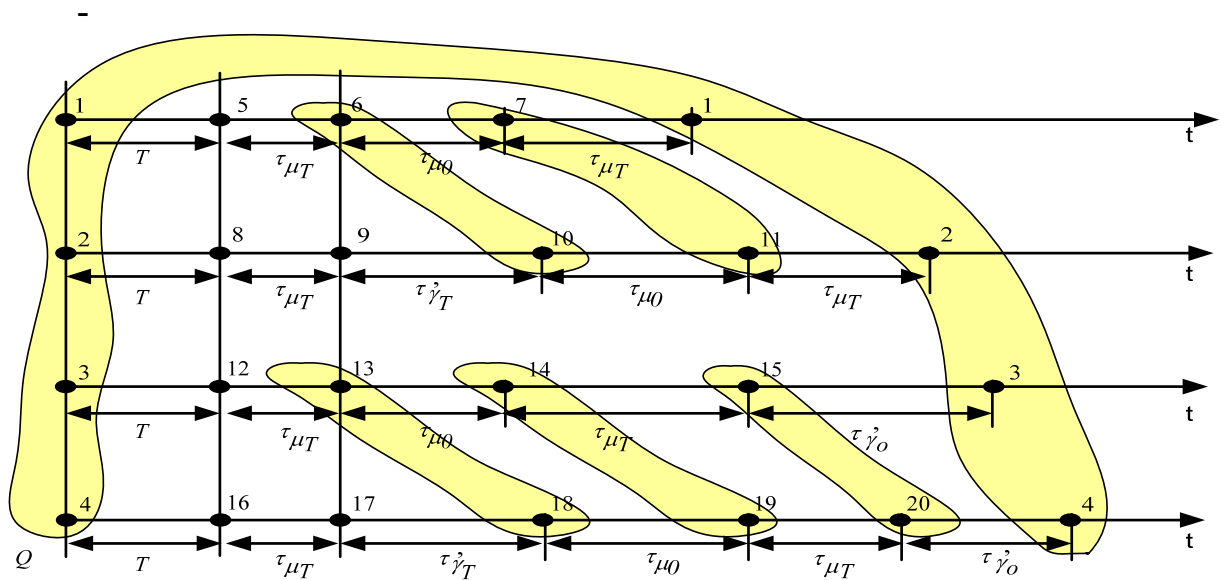
из состояния в состояние, а их операторами являются условные вероятности  $P_{ij}$  ( $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ;  $i, j = \overline{1, m}$ ) переходов СД из состояния  $l_i$  в состояние  $l_j$  и длительности пребывания СД в состоянии  $l_i$  до перехода в состояние  $l_j$ .

Для построения модели необходимо определить начальные (исходные) состояния, в которых может находиться СД без учета режимов использования ОД и ТСД. Пример циклограммы взаимодействия ОД и ТСД исследуемой системы диагностирования средств управления объектом приведен на рис. 3.

В диссертации модели способов взаимодействия ОД и ТСД получены при следующих ограничениях:

- независимо функционирующие системы, входящие в ОД, вводятся в диагностический режим и выводятся из него только одновременно;
- в диагностическом режиме дефекты в ОД не возникают; наработка ОД на отказ значительно превышает среднюю наработку объекта до отказа его элемента, не приводящего к отказу ОД в целом;
- средняя наработка ОД между моментами последовательного возникновения в нем двух дефектов не менее, чем на порядок больше средней длительности диагностического режима при наличии дефектов в ОД.

Для каждой полумарковской модели СД получены с помощью математического аппарата, в соответствии с разработанной методикой, аналитические выражения  $K_{G\varphi} = K_{G\varphi}(\Lambda_0, M_0, R_0, E, D)$ , где  $\varphi$  - индекс, показывающий наличие (отсутствие)



- 1 – ОД в рабочем режиме, дефекты отсутствуют, ТСД выключены, дефекты отсутствуют
- 2 – ОД в рабочем режиме, дефекты отсутствуют, ТСД выключены, возможны дефекты
- 3 – ОД в рабочем режиме, возможны дефекты, ТСД выключены, дефекты отсутствуют
- 4 – ОД в рабочем режиме, возможны дефекты, ТСД выключены, возможны дефекты
- 5 – ОД ожидает диагностирования, дефекты отсутствуют, проверяется работоспособность, ТСД выключены, дефекты отсутствуют
- 6,10 – Проверяется работоспособность ОД, дефекты отсутствуют, ТСД в рабочем режиме, дефекты отсутствуют
- 7,11 - ОД ожидает перевода в рабочий режим, дефекты отсутствуют. Повторно проверяется работоспособность ТСД, дефекты отсутствуют
- 8 - ОД ожидает диагностирования, дефекты отсутствуют. Проверяется работоспособность ТСД, дефекты имеются
- 9 - ОД ожидает диагностирования, дефекты отсутствуют. ТСД восстанавливаются, дефекты имеются.
- 12 - ОД ожидает диагностирования, дефекты имеются. Проверяется работоспособность ТСД, дефекты отсутствуют.
- 13,18 - Проверяется работоспособность ОД, дефекты имеются. ТСД находится в рабочем режиме, дефекты отсутствуют.
- 14,19 - ОД ожидает восстановления, дефекты имеются. Повторно проверяется работоспособность ТСД, дефекты отсутствуют.
- 15,20 - ОД восстанавливается, дефекты имеются. ТСД находится в рабочем режиме, дефекты отсутствуют.
- 16 - ОД ожидает диагностирования, дефекты имеются. Проверяется работоспособность ТСД, дефекты имеются.
- 17 - ОД ожидает диагностирования, дефекты имеются. ТСД восстанавливается, дефекты имеются.

Рис. 3

режима прогнозирования. Для показателя готовности  $K_r$  ОД  $\varphi = 1$ , когда прогнозирование не выполняется, и  $\varphi = 2$ , когда выполняется прогнозирование работоспособности объекта.

Получены формулы для вычисления средних длительностей объектов непрерывного, регулярно- и случайно-периодического использования  $\omega_{НИ}$ ,  $\omega_{РПИ}$ ,  $\omega_{СПИ}$  для случаев регулярно- и случайно-периодического диагностирования.

Например, для ОД непрерывного использования при регулярно-периодическом диагностировании  $\omega_{НИ}^{pnd} = \int_0^T P_0(t)dt$ , где  $P_0(t)$  - вероятность того, что в ОД в момент времени  $t$  в интервале  $(0, T)$  не возникнет ни одного дефекта.

При вычислении средних длительностей  $\omega_{НИ}$ ,  $\omega_{РПИ}$  и  $\omega_{СПИ}$ , в общем случае, следует использовать известные численные методы.

Исследованы вопросы проектирования ТСД восстанавливаемых микропроцессорных систем управления объектов данного класса, т.е. таких объектов, которые в случае возникновения отказа подлежат восстановлению.

В зависимости от конкретных ситуаций для восстанавливаемых объектов сформулированы следующие сочетания решаемых при диагностировании задач  $Z$ :

1) определение работоспособности  $z_1$  и поиск дефектов  $z_2$ , т.е.  $Z = \{z_1, z_2\}$ ;

2) определение работоспособности  $z_1$ , поиск дефектов  $z_2$  и прогнозирование изменения состояния (прогнозирование работоспособности) ОД  $z_3$ , т.е.  $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$ .

При этом задачу  $z_1$  решают средства определения работоспособности, задачу  $z_2$  – средства поиска дефектов, задачу  $z_3$  – средства прогнозирования работоспособности.

Для определения целесообразности прогнозирования работоспособности ОД используется метод, который основан на оценке влияния ТСД на эффективность СД и, соответственно, ОД. В этом случае целесообразность выполнения прогнозирования определяется по приращению показателя  $K_r$  готовности ОД в рабочем режиме, характеризующего эффективность СД. Если в результате прогнозирования  $K_r$  возрастает, то прогнозирование целесообразно, в противном случае нецелесообразно.

Задача по определению назначения ТСД сформулирована как задача выбора варианта построения ТСД, обеспечивающего максимальный  $K_{ГМАКС}$  или заданный  $K_{ГЗ}$  уровни готовности ОД в рабочем режиме. При этом учитываются как постепенные, так и внезапные отказы его элементов, при условии, что процесс возникновения постепенных отказов элементов ОД описывается нормальным и рэлеевским законами распределения.

Возможны два случая:

а) на величину  $\Delta K_r$  задано ограничение снизу  $\Delta K_{ГЗ} \leq \Delta K_r$ . В данном случае за счет прогнозирования требуется обеспечить положительное приращение показателя  $K_r$  готовности ОД в рабочем режиме, что со-

ответствует условию:  $K_{Г2} > K_{Г1}$ ;

б) за счет прогнозирования необходимо добиться не просто положительного приращения уровня готовности ОД, а такого, чтобы выполнялось условие:  $K_{Г2} \geq K_{Г1} + \Delta K_{Г3}$ .

**В третьей главе** сформулирована математическая постановка задачи определения требований к системам диагностирования микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения. В главе излагается методика определения требований к показателям СД, исходя из обеспечения заданного уровня  $K_{Г3}$  готовности ОД в рабочем режиме.

Задача формулируется следующим образом. Известны (заданы) совокупность  $Z = \{z_i\}$  ( $i=1,2,3$ ) задач диагностирования, решаемых ТСД в процессе взаимодействия с ОД, и значения показателей, характеризующих:

– безотказность  $\Lambda_0$  объекта, т.е. параметры (параметр) закона распределения случайной наработки ОД до отказов его элементов, не приводящих к отказам ОД в целом;

– контролепригодность  $M_0$  объекта, т.е. длительности проверки  $\tau_{\mu_0}$  и прогнозирования  $\tau'_{\xi_0}$  работоспособности ОД;

– ремонтпригодность  $R_0$  объекта, т.е. длительности аварийного  $\tau'_{\gamma_0}$  и профилактического  $\tau'_{\gamma_{оп}}$  восстановления ОД;

– организацию  $E$  использования объекта, т.е. длительность  $T_\theta$  использования ОД и длительность  $T_\eta$  перерыва между последовательными использованиями;

– организацию  $D$  процесса диагностирования, т.е. длительность  $T$  периода диагностирования.

Требуется определить значения показателей, характеризующих безотказность  $\Lambda_T$ , контролепригодность  $M_T$  и ремонтпригодность  $R_T$  ТСД, обеспечивающие заданный уровень  $K_{Г3}$  показателя  $K_G$  готовности ОД в рабочем режиме, если безотказность  $\Lambda_T$ , контролепригодность  $M_T$  и ремонтпригодность  $R_T$  ТСД соответственно характеризуют среднюю наработку  $T_{\lambda_T}$  ТСД до отказа их элемента, не приводящего к отказу ТСД в целом; длительность  $\tau_{\mu_T}$  проверки работоспособности и длительность  $\tau'_{\gamma_T}$  восстановления ТСД.

При решении поставленной задачи на основании проведенного исследования и статистического анализа элементов, входящих в микропроцессорные средства управления объектами теплоснабжения установлено, что значения случайной наработки ТСД до отказа подчиняются экспоненциальному закону распределения.

Решение сформулированной задачи заключается в определении  $T_{\lambda_T}$ ,  $\tau_{\mu_T}$  и  $\tau'_{\gamma_T}$  из уравнения:

$$K_G(T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau'_{\gamma_T}) = K_{Г3} \quad (1)$$

при учете ограничений

$$\left. \begin{aligned} T_{\lambda_T}^H &\leq T_{\lambda_T} \leq T_{\lambda_T}^B \\ \tau_{\mu_T}^H &\leq \tau_{\mu_T} \leq \tau_{\mu_T}^B \\ \tau_{\gamma_T}^H &\leq \tau_{\gamma_T}' \leq \tau_{\gamma_T}'^B \end{aligned} \right\} \quad (2),$$

где  $K_{\Gamma}(T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau_{\gamma_T}')$  – функция, описывающая аналитическую зависимость показателя  $K_{\Gamma}$  готовности ОД в рабочем режиме от  $T_{\lambda_T}^H, \tau_{\mu_T}^H, \tau_{\gamma_T}'^H$  и  $T_{\lambda_T}^B, \tau_{\mu_T}^B, \tau_{\gamma_T}'^B$ , где  $T_{\lambda_T}^H, \tau_{\mu_T}^H, \tau_{\gamma_T}'^H$  и  $T_{\lambda_T}^B, \tau_{\mu_T}^B, \tau_{\gamma_T}'^B$  – соответственно нижние и верхние граничные (допустимые) значения искомым показателей  $T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}$  и  $\tau_{\gamma_T}'$ .

Из множества комбинаций показателей безотказности  $\Lambda_T$ , контролепригодности  $M_T$  и ремонтпригодности  $R_T$  ТСД может существовать, по крайней мере, одна комбинация, которая является решением задачи (1), (2), т.е. обеспечивает заданный уровень  $K_{\Gamma_3}$  готовности ОД. Очевидно, что прямой перебор с дискретными шагами по искомым показателям  $T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}$  и  $\tau_{\gamma_T}'$  не всегда может обеспечить требуемую точность решения задачи (1), (2). Поэтому задачу (1), (2) целесообразно рассматривать как задачу оптимизации. Для этого вводится некоторая целевая функция, которая отражает в математической форме цель оптимизации проектируемых ТСД и позволяет из множества допустимых вариантов построения ТСД выбрать оптимальный.

В качестве целевой функции при решении рассматриваемой задачи имеет смысл применить квадрат отклонения показателя  $K_{\Gamma}$  готовности ОД от его заданного значения  $K_{\Gamma_3}$ , т.е. величину  $[K_{\Gamma}(T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau_{\gamma_T}') - K_{\Gamma_3}]^2$ , и обеспечить в процессе проектирования его минимум. Это позволяет сформулировать задачу оптимизации в виде определения:

$$\min [K_{\Gamma}(T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau_{\gamma_T}') - K_{\Gamma_3}]^2 \quad (3),$$

где  $\{T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau_{\gamma_T}'\} \in M$  при ограничениях М:

$$\left. \begin{aligned} T_{\lambda_T}^H &\leq T_{\lambda_T} \leq T_{\lambda_T}^B \\ \tau_{\mu_T}^H &\leq \tau_{\mu_T} \leq \tau_{\mu_T}^B \\ \tau_{\gamma_T}^H &\leq \tau_{\gamma_T}' \leq \tau_{\gamma_T}'^B \end{aligned} \right\} \quad (4).$$

После математической постановки задачи оптимизации необходимо найти зависимость  $K_{\Gamma} = K_{\Gamma}(T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau_{\gamma_T}')$ . С этой целью изучаются условия эксплуатации ОД и ТСД, в результате чего определяется конечное дискретное множество  $E = \{e_1, e_m\}$  всех возможных несовместных состояний, в которых может находиться ТСД в процессе взаимодействия ОД и ТСД. Для полученного множества  $E = \{e_1, e_m\}$  несовместных состояний СД составляется полумарковская модель взаимодействия ОД и ТСД, представляющая собой ориентированный граф  $G(L, P)$  возможных переходов СД из состояния в состояние. Затем для построенной модели взаимодействия ОД и ТСД (графа  $G(L, P)$ ), с помощью математи-

ческого аппарата теории полумарковских процессов в соответствии с разработанной методикой, выводится аналитическое выражение:

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma}(\Lambda_0, \tau_{\mu_0}, \tau'_{\gamma_0}, E, D, T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau'_{\gamma_T}) \quad (5).$$

Данное выражение характеризует критерий  $K_{\Gamma}$ , как функцию показателей безотказности  $\Lambda_0$  и  $\Lambda_T$ , контролепригодности  $M_0$  и  $M_T$ , ремонтпригодности  $R_0$  и  $R_T$  ОД и ТСД, соответственно, организации использования объекта  $E$  и организации процесса диагностирования  $D$ . В выражении (5) символ  $\Lambda_0$  означает, что процесс возникновения отказов элементов ОД может быть описан любым законом распределения.

Для определения значений вероятностей возникновения в ТСД суммарных ошибок первого ( $\alpha$ ) и второго ( $\beta$ ) рода необходимо относительно  $\alpha$  и  $\beta$  решить уравнение:

$$K_{\Gamma}(\alpha, \beta) = K_{\Gamma_3} \quad (6)$$

при учете ограничений:

$$\left. \begin{array}{l} 0 < \alpha < 1 \\ 0 < \beta < 1 \end{array} \right\} \quad (7),$$

где  $K_{\Gamma}(\alpha, \beta)$  – функция, описывающая аналитическую зависимость показателя  $K_{\Gamma}$  готовности ОД в рабочем режиме от величин  $\alpha$  и  $\beta$ .

Из множества комбинаций  $\alpha$  и  $\beta$  может существовать, по крайней мере, одна комбинация, которая является решением задачи (6), (7), т.е. обеспечивает заданный уровень  $K_{\Gamma_3}$  готовности ОД. Очевидно, что прямой перебор с дискретными шагами по искомым вероятностям  $\alpha$  и  $\beta$  не всегда может обеспечить требуемую точность решения задачи (6), (7). Поэтому задачу (6), (7) целесообразно рассматривать как задачу оптимизации.

Одним из способов повышения эффективности СД является учет структуры микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения. Учет структуры позволяет правильно выбрать один из четырех возможных способов организации диагностирования системы (последовательный, параллельный, последовательно - параллельный и параллельно - последовательный). В свою очередь, правильный выбор способа организации диагностирования микропроцессорных средств управления позволяет оптимизировать число  $S$  каналов ТСД, используемых для обслуживания микропроцессорных средств управления. Задача, в этом случае, формулируется следующим образом.

Известны (заданы) совокупность  $Z = \{z_1, z_2\}$  задач диагностирования, решаемых ТСД в процессе взаимодействия с ОД, и значения показателей, характеризующих систему диагностирования.

Требуется определить оптимальное число  $S_{\text{опт}}$  каналов ТСД и соответствующую организацию диагностирования микропроцессорных средств управления, обеспечивающие максимальное  $K_{\Gamma_{\text{макс}}}$  или заданное  $K_{\Gamma_3}$  значения показателя  $K_{\Gamma}$  готовности СД в рабочем режиме.

Исходя из практических соображений, при решении поставленной задачи

будем считать, что СД обслуживает один абсолютно надежный человек-оператор.

Для решения задачи изучаются условия эксплуатации ОД и ТСД, в результате чего определяется конечное дискретное множество  $E = \{e_1, e_m\}$  всех возможных несовместных состояний, в которых может находиться СД в процессе взаимодействия ОД и ТСД. Далее строится ориентированный граф  $G(L, P)$ . Затем выводится аналитическое выражение:

$$K_G = K_G(\lambda_0, \tau_{\mu_0}, \tau'_{\gamma_0}, E, D, T_{\lambda_T}, \tau_{\mu_T}, \tau'_{\gamma_T}, \alpha, \beta) \quad (8).$$

Используя (8), находим выражения для показателя  $K_G$  готовности ОД в рабочем режиме при каждом из четырех возможных способов организации диагностирования ОД. Для этого подставляем в (8) полученные выражения для  $\lambda_0, \tau_{\mu_0}, \tau'_{\gamma_0}, \lambda_T, \tau_{\mu_T}$  и  $\tau'_{\gamma_T}$ .

Показатель  $K_G$  готовности ОД имеет вид:

– при последовательном диагностировании

$$K_G = K_G(N\lambda_0^{(1)}, N\tau_{\mu_0}^{(1)}, N\lambda_0^{(1)}T((1/N)\tau_{\pi_0}^{(1)} + \tau_{v_0}^{(1)}), E, D, \lambda_T^{(1)}, \tau_{\mu_T}^{(1)}, \lambda_T^{(1)}T(\tau_{\pi_T}^{(1)} + \tau_{v_T}^{(1)}), \alpha, \beta) \quad (9)$$

– при параллельном диагностировании

$$K_G = K_G(N\lambda_0^{(1)}, N\tau_{\mu_0}^{(1)}, N\lambda_0^{(1)}T((1/N)\tau_{\pi_0}^{(1)} + \tau_{v_0}^{(1)}), E, D, N\lambda_T^{(1)}, \tau_{\mu_T}^{(1)}, \lambda_T^{(1)}T(\tau_{\pi_T}^{(1)} + \tau_{v_T}^{(1)}), \alpha, \beta) \quad (10)$$

– при параллельно-последовательном диагностировании

$$K_G = K_G(N\lambda_0^{(1)}, (N/M_3)\tau_{\mu_0}^{(1)}, N\lambda_0^{(1)}T((1/M_3)\tau_{\pi_0}^{(1)} + \tau_{v_0}^{(1)}), E, D, M_3\lambda_T^{(1)}, \tau_{\mu_T}^{(1)}, \lambda_T^{(1)}T(\tau_{\pi_T}^{(1)} + \tau_{v_T}^{(1)}), \alpha, \beta) \quad (11)$$

– при последовательно-параллельном диагностировании

$$K_G = K_G(N\lambda_0^{(1)}, (N \frac{1}{N/M_4})\tau_{\mu_0}^{(1)}, N\lambda_0^{(1)}T((\frac{1}{N/M_4})\tau_{\pi_0}^{(1)} + \tau_{v_0}^{(1)}), E, D, (N/M_4)\lambda_T^{(1)}, \tau_{\mu_T}^{(1)}, \lambda_T^{(1)}T(\tau_{\pi_T}^{(1)} + (N/M_4)\tau_{v_T}^{(1)}), \alpha, \beta) \quad (12)$$

В результате реализации разработанных методик и процедур для решения поставленной задачи установлено следующие:

1. Число каналов ТСД и число групп систем (блоков), на которые разбиваются все независимо функционирующие системы (блоки) микропроцессорных средств управления (ОД) при параллельно-последовательном диагностировании, равны соответственно числу каналов ТСД и среднему числу систем (блоков) в каждой из групп, на которые разбиваются все независимо функционирующие системы (блоки) ОД при последовательно-параллельном диагностировании. В свою очередь, число групп независимо функционирующих систем (блоков), на которые разбиваются все системы (блоки) ОД при последовательно-параллельном диагностировании, равно среднему числу независимо функционирующих систем (блоков) в каждой из групп, на которые разбиваются все системы (блоки) ОД при параллельно-последовательном диагностировании.

2. Максимальные значения показателя готовности СД, которые могут быть получены при параллельно-последовательном и последовательно-параллельном диагностировании ОД, одинаковы.

**В четвертой главе** представлены результаты практического применения разработанных моделей, методик и инструментальной среды в задачах проектирования СД микропроцессорных средств управления объектов теплоснабжения: комплекса ТМК-Н2 в ФГУП «60 Арсенал», ТМК-Н3 в ОАО «Людиновский Агрегатный завод», АЛ-АМ – 36 в ОАО «Людиновские тепловые сети».

При проектировании СД комплекса ТМК-Н3 было установлено, что введение в процесс диагностирования функции прогнозирования приводит к уменьшению значения показателя готовности комплекса с  $K_{Г1} = 0,872$  до  $K_{Г1} = 0,754$ . Таким образом, ТСД, обслуживающие этот комплекс, должны быть предназначены только для определения работоспособности и поиска дефектов и включать в себя системы определения работоспособности и случайно-периодического диагностирования.

Определены требования к безотказности, контролепригодности и ремонтнопригодности ТСД технического объекта ТМК-Н2. Найдены значения  $\tilde{T}_{\lambda_T} = 2690$  ч для средней наработки  $T_{\lambda_T}$  ТСД до отказа элемента, не приводящего к отказу ТСД в целом, и для средних длительностей  $\tilde{\tau}_{\mu_T} = 0,8$  ч проверки работоспособности  $\tau_{\mu_T}$  и  $\tilde{\tau}_{\gamma_T} = 5$  ч восстановления  $\tau_{\gamma_T}$  ТСД.

Определено, что оптимальное число каналов ТСД, необходимое для обслуживания многоканального диагностического комплекса, состоящего из 36 однотипных диагностических каналов (контроллеров), каждый из которых представляет независимо функционирующую систему, равно пяти. При этом возможно использовать смешанное диагностирование: либо параллельно-последовательное, либо последовательно-параллельное.

Произведено распределение диагностических каналов комплекса по группам при параллельно-последовательном и последовательно-параллельном диагностировании.

При параллельно-последовательном диагностировании многоканального диагностического комплекса 36 его каналов необходимо разбить на две подгруппы, в первой из которых следует объединить четыре группы каналов по семь каналов в каждой группе, а во второй – одну группу, состоящую из восьми каналов.

При последовательно-параллельном диагностировании 36 каналов комплекса необходимо также разбить на две подгруппы. Однако первую подгруппу следует сформировать из семи групп по четыре канала в каждой группе, вторую подгруппу – из восьми групп по одному каналу в каждой группе.

**В разделе «Заключение»** изложены основные теоретические и практические результаты диссертационной работы.

**В приложениях** приведены модели графов, отображающие основные принципы работы исследуемых микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения. Для каждой модели приведены примеры аналитического выражения показателя готовности  $K_r$  и значения средних длительностей отсут-



ствия дефектов, как в объекте диагностирования, так и в технических средствах диагностирования для каждого случая.

## **Основные результаты работы**

В диссертационной работе решена важная научно-хозяйственная проблема, повышения качества проектирования и эффективности эксплуатации технических средств управления путем усовершенствования СД, на примере систем управления объектами теплоснабжения. Для решения данной проблемы были исследованы микропроцессорные средства управления объектами теплоснабжения и получены научно-технические решения, позволяющие осуществить обоснованный выбор параметров системы диагностики данных средств. Разработаны метод построения моделей и программный комплекс, позволяющие на начальном этапе проектирования решать поставленные задачи на ЭВМ и определять параметры эффективной организации диагностирования.

1. Разработана классификация взаимодействия ОД и ТСД микропроцессорных систем управления объектами исследуемого класса для решения задачи определения состава и параметров СД, в зависимости от условий ее эксплуатации и диагностирования.

2. Построены полумарковские модели взаимодействия ОД и ТСД восстанавливаемых технических объектов теплоснабжения. Получены аналитические выражения показателя готовности СД, которые учитывают взаимодействие критериев характеризующих СД при различных режимах работы с учетом прогнозирования работоспособности ОД. Исследованы и определены условия целесообразности режима прогнозирования работоспособности восстанавливаемых технических объектов.

3. Разработаны методики и алгоритмы, которые позволяют в автоматизированном режиме определить основные параметры эксплуатации СД микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения на этапе проектирования:

а) методика построения модели СД микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения;

б) методика определения требований к безотказности, контролепригодности и ремонтпригодности ТСД;

в) алгоритмы и программы получения аналитического выражения показателя готовности;

г) процедуры определения требований к ошибкам первого, второго рода ТСД.

4. Решена задача определения требований к ТСД, исходя из заданного уровня готовности ОД, оцениваемого показателем готовности  $K_r$ . Исходными данными для решения задачи на предварительном этапе проектирования ТСД являются показатели безотказности, контролепригодности, ремонтпригодности, организации использования ОД и организации процесса его диагностирования.

5. Использование разработанных методик, алгоритмов и программ способствует сокращению сроков и повышению качества проектирования ТСД в

системе диагностирования, а также позволяет повысить эффективность СД микропроцессорных средств управления объектами теплоснабжения.

### **Публикации по теме работы**

1. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Анализ средств и методов диагностирования локальных сетей // Труды V Международного симпозиума: Интеллектуальные системы (ИНТЕЛС'2002). – Калуга, 2002. – С. 298 – 300.

2. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Технологии беспроводной передачи данных // Новые информационные технологии в системах связи и управления: Материалы III Всерос. н-т конф.– Калуга, 2004. – Ч. 1. – С. 195 – 197.

3. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Анализ систем дистанционного мониторинга и управления объектов // Новые информационные технологии в системах связи и управления: Материалы III Всерос. н-т конф.– Калуга, 2004. – Ч. 1. – С. 198 – 200.

4. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Система автоматизированного диагностирования объектов учета и контроля потребления ТЭР // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Сб. – М., 2005. – Т. 1. – С. 327 – 329.

5. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Решение задач определения требований к системе диагностирования // Новые информационные технологии в системах связи и управления: Материалы IV Всерос. н-т конф. – Калуга, 2005. – С. 109 – 110.

6. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Разработка системы автоматизации диагностирования и управления объектов теплоснабжения // Новые информационные технологии в системах связи и управления: Материалы IV Всерос. н-т конф. – Калуга, 2005. – С. 111 – 113.

7. Бурмистров А.В., Федорова В.А. Анализ средств диагностики компьютерных сетей // Новые инф. технол. в системах управления и связи: Сб. Трудов III Всерос. н-т конф. – Калуга, 2005. – С. 289 – 290.

8. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Процедура проектирования технических средств диагностирования сложных объектов // Новые информационные технологии в системах связи и управления: Материалы V Всерос. н-т конф. – Калуга, 2006. – С. 170 – 172.

9. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Автоматизированная система контроля и учета потребления топливно-энергетических ресурсов // Интеллектуальные системы (INTELS'2006): Сб. Трудов VII Международ. симпоз. – Краснодар, 2006. – С. 579 – 582.

10. Мазин А.В., Бурмистров А.В. Определение требований к автоматизированным объектам теплоснабжения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Естественные науки. – 2007. – №2. – С. 1 – 8.