

На правах рукописи

Иващенко Олег Александрович
**ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
ТЕРМИЧЕСКОГО УНИЧТОЖЕНИЯ ОТХОДОВ**

Специальность: 05.11.16 – Информационно-измерительные
и управляющие системы (приборостроение)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», на кафедре информационно-измерительных систем и технологий.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Алексеев Владимир Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кондрашкова Галина Анатольевна,
заведующая кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров

кандидат технических наук,
Шевченко Сергей Юрьевич,
доцент кафедры лазерных информационных навигационных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет»

Защита диссертации состоится “__” декабря 2013 г. в __ часов на заседании диссертационного совета Д 212.238.06 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5, ауд. 5108.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан “__” _____ 2013 г.

Учёный секретарь совета,
к.т.н., доцент

Боронахин А.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Современные информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС) предназначены для решения сложных задач контроля и управления различными технологическими процессами (ТП). Актуальность их применимости к опасным термическим ТП объясняется тем, что с их помощью решается не только задача контроля и управления технологическими параметрами процесса, но и задача предупреждения экологической опасности. В связи с этим, должен быть обеспечен контроль экологических параметров ТП и управление ТП с целью недопущения возникновения аварийных ситуаций, приводящих к авариям и негативным воздействиям на окружающую среду.

Технологический процесс термического уничтожения отходов (ТП ТУО) является экологически опасным, энергоёмким и требует особого отношения к обеспечению его безопасного протекания. Сложность контроля и управления обуславливается тем, что состав и плотность мусора непостоянны. Поэтому сложно прогнозировать протекание процесса, формировать упреждающие воздействия, обеспечивающие его безопасное протекание, предотвращающие аварийные ситуации и аварии. Аварии на высокотемпературном технологическом процессе могут оказывать воздействия на окружающую среду, наносить большой материальный ущерб и вред здоровью людей.

В работе рассматривается создание программно-алгоритмического обеспечения ИИУС, позволяющей контролировать и своевременно формировать управляющие воздействия на основании идентификации текущей ситуации с целью безопасного и экологичного протекания ТП ТУО.

Целью работы является исследование и разработка программно-алгоритмического обеспечения ИИУС, позволяющего поддерживать ТП ТУО в безаварийном состоянии за счёт его контроля и выработки управляющих воздействий.

Задачи исследований:

- обеспечение надёжности идентификации аварийных ситуаций и аварий;
- определение параметров измерительного канала для обеспечения требуемой точности оценки состояния ТП ТУО и своевременного формирования управляющего воздействия (УВ);
- разработка алгоритма формирования УВ;
- разработка структуры ИИУС, позволяющей проводить оптимизацию состава средств измерения (СИ);
- разработка алгоритма определения оптимального состава СИ ИИУС.

Методы исследований базируются на методах прикладной статистики, теории исследования операций, общей теории оптимизационных задач, алгоритмической теории измерений и методов расчета погрешностей, а также накопленном к настоящему времени опыте и результатах в области проектирования измерительных систем.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Полученные выражения, определяющие требования к метрологическим характеристикам (МХ) измерительного канала (ИК), обеспечивающего контроль текущего значения и скорости протекания процесса в условиях шумов с заданной точностью с целью надёжной идентификации аварийных ситуаций ТП ТУО;
2. Алгоритм формирования УВ, отличающийся обеспечением оптимального перехода ТП ТУО из одного состояния в другое с целью предотвращения аварийной ситуации с заданной надёжностью;
3. Структурно-алгоритмическая организация программной системы управления, отличающаяся возможностью подключения различных СИ с целью обеспечения надёжности идентификации аварийных ситуаций и управления ТП ТУО;
4. Методика построения ИИУС с оптимально выбранной номенклатурой СИ, рассчитанная на эффективное использование функциональных возможностей разработанного программно-алгоритмического обеспечения.

Научная новизна. В процессе проведения исследований получены новые научные результаты:

- выражения, определяющие требования к МХ ИК, обеспечивающего контроль текущего значения и скорости протекания ТП ТУО с заданной точностью;
- алгоритм формирования УВ в соответствии с полученным фазовым пространством, обеспечивающий оптимальный переход ТП ТУО из одного состояния в другое с целью предотвращения аварийных ситуаций;
- структурно-алгоритмическая организация программной системы управления, обеспечивающая возможность подключения различных СИ и требуемую точность результатов измерения;
- методика построения ИИУС с оптимально выбранной номенклатурой СИ, рассчитанная на эффективное использование функциональных возможностей разработанного программно-алгоритмического обеспечения.

Практическая ценность работы состоит в том, что:

- реализован алгоритм формирования УВ, построенного на базе предложенных выражений для измерения текущего значения и скорости протекания процесса;
- разработан программный комплекс, обеспечивающий возможность подключения различных СИ и требуемую точность результатов измерения, положенный в основу полученных внедрений;
- разработана методика построения ИИУС, обеспечивающая предупреждение аварийных ситуаций и аварий.

Реализация и внедрение результатов работы.

Теоретические положения, методы и результаты исследований диссертации использованы:

- при выполнении научно-исследовательской работы «Исследование процессов управления, разработка элементов АСУ» 6640/ИИСТ-161 при со-

здании «Системы экологического мониторинга технологического процесса термического уничтожения отходов СЭМ ИН50» в 2005 г. (акт о внедрении от 2006 г.)

- при выполнении научно-исследовательской работы «Создание интеллектуальной системы мониторинга и управления энергопотреблением с прогнозируемым метрологическим ресурсом в зданиях и сооружениях», государственный контракт № 16.516.11.6039
- при выполнении научно-исследовательской работы ООО «Фортуна» (акт о внедрении от 25.06.2013);
- при обучении магистров в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» по дисциплине «Локальные измерительно-вычислительные системы» магистерской программы «Приборы и методы контроля качества и диагностики».

Апробация. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: международного конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов»; научно-практической конференции «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий» (Санкт-Петербург, 2009-2011 гг.); научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Санкт-Петербург, 2011-2013 гг.); международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации и управления в технических системах» (Пенза, 2011 г.); международной конференции «Лазеры, измерения, информация» (Санкт-Петербург, 2012 г.); международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (Новосибирск, 2012 г.).

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации изложены в 19 публикациях, среди которых 4 научные статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК, 8 – в научных сборниках и трудах российских и международных конференций, 1 учебное пособие, 6 свидетельств регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами и заключения. Она изложена на 138 страницах машинописного текста, включает 34 рисунка, 4 таблицы и содержит список литературы из 71 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и задачи исследования, научные и практические результаты и основные положения, вносимые на защиту.

В первой главе проведён анализ существующих опасных термических ТП и методов построения систем их контроля и управления.

Анализ современных ИИУС, используемых в ТП таких технических систем, как высокотемпературное производство, термическое уничтожение опас-

ных отходов, управление климатом в зданиях и сооружениях показал, что ИИУС подобного класса имеют высокую сложность, так как, как правило, оптимальным вариантом их построения является распределение функций измерения и управления по конкретным узлам. В этом случае структура ИИУС разделяется на несколько уровней по горизонтали, где на нижнем уровне локальная ИИУС управляет конкретными объектами или узлами, а на верхнем уровне производится мониторинг и определение характеристик протекания процесса в целом с целью предупреждения аварийных ситуаций и аварий. Показана необходимость создания программно-алгоритмического обеспечения ИИУС контроля и управления опасными ТП, направленное на предотвращение экологических и технических аварий.

В информационно-измерительных системах контроля и управления техническими и технологическими процессами, процессами потребления энергии в быту и на производстве и др. для идентификации текущего состояния и предупреждения аварийных ситуаций осуществляется контроль значений информативных параметров. Однако задача предупреждения аварийных ситуаций требует также прогнозирования текущего состояния. В связи с этим возникает необходимость измерения скорости изменения информативного параметра с требуемой точностью, что также влияет на надёжность идентификации текущего состояния. В работе на примере ТП ТУО рассмотрены вопросы формирования требований к МХ ИК с целью надёжной (с заданной вероятностью) идентификации текущей ситуации.

Показано, что необходим комплексный анализ ТП ТУО, на основании которого выявляются перечень измеряемых сигналов и их модели. Для важных информативных параметров должен быть произведён анализ их метрологических и динамических характеристик, на основе которого должны быть предъявлены требования к ИК.

Важнейшими алгоритмическими составляющими управления ТП ТУО с целью предотвращения аварийных ситуаций и аварий являются идентификация текущей ситуации и формирование управляющего воздействия на её основе. В связи с этим необходима разработка алгоритмического обеспечения, позволяющего надёжно идентифицировать состояние ТП ТУО и сформировать своевременное управляющее воздействие, ведущее к скорейшей безопасной стабилизации процесса.

В настоящее время существует большое разнообразие ТП, СИ, средств промышленной автоматизации, направленных на создание ИИУС ТП. В связи с этим необходима разработка методики создания таких систем, позволяющая подключать различные СИ и выбирать их состав оптимальным образом. Показана необходимость разработки аппаратно-программной системы, позволяющей обеспечивать контроль и управление ТП ТУО с заданной точностью, а также оптимальным образом выбирать состав СИ, используемых для контроля процесса независимо от программно-алгоритмического обеспечения ИИУС.

Глава 2 посвящена разработке и исследованию алгоритмического обеспечения ИИУС.

Предложен алгоритм определения нижних и верхних порогов аварий и аварийных ситуаций для каждого информативного параметра на основе анализа вероятностей ошибок первого и второго рода в предположении известных априори законов распределения информативного параметра и результатов контрольных измерений.

Режим аварийной ситуации может быть определен, если результат измерения находится в интервале между $T_{i_{ac}}$ и T_{i_a} , т.е. $T_{i_{ac}} \leq S_i \leq T_{i_a}$.

Вероятность принятия решения об аварийной ситуации в то время, когда она не наступила, определяется условной вероятностью

$$P_{Sac}^I = P(S_i \geq S_{i_{ac}} + g\sigma_{S_i} / T_i \leq T_{i_{ac}}) = \int_{S_{i_{ac}} + g\sigma_{S_i}}^{S_{i_a}} \int_0^{T_{i_{ac}}} \rho_{2S_i}(S/T) \rho_{T_i}(T) dT dS \rightarrow P_{Sac}^{I*}, \quad (1)$$

вероятность необнаружения аварийной ситуации при её наличии

$$P_{Sac}^{II} = P(S_i \leq S_{i_{ac}} + g\sigma_{S_i} / T_i > T_{i_{ac}}) = \int_0^{S_{i_{ac}} + g\sigma_{S_i}} \int_{T_{i_{ac}}}^{T_{i_a}} \rho_{2S_i}(S/T) \rho_{T_i}(T) dT dS \rightarrow P_{Sac}^{II*}. \quad (2)$$

Исходя из полученных выражений и заданных вероятностей ошибок (P_{Sac}^{I*} и P_{Sac}^{II*}), находятся пороговые значения $T_{i_{ac}}$ и T_{i_a} .

Точность измерения скорости изменения информативного параметра в данном случае напрямую влияет на надёжность идентификации состояния ТП ТУО и, в конечном счёте, на адекватность формирования УВ.

Выбран алгоритм измерения скорости изменения значений информативного параметра, позволяющий обеспечить заданную точность при наличии шумов и частично известной динамике процесса. Оценка значения скорости процесса для выбранной модели сигнала $T(t) = a_1 t + a_0$ записывается в следующем выражении:

$$T'(t) = a_1 = \frac{d_1 \cdot n - d_4 \cdot d_3}{d_2 \cdot n - d_3^2},$$

$$\text{где } d_1 = \sum_{q=1}^n t_q T_{i_q}; \quad d_2 = \sum_{q=1}^n t_q^2; \quad d_3 = \sum_{q=1}^n t_q; \quad d_4 = \sum_{q=1}^n T_{i_q};$$

t_q – q-е значение аргумента (времени); T_{i_q} – q-е значение i-го информативного параметра.

Оценка дисперсии погрешности косвенного измерения скорости процесса определяется формулой:

$$\sigma_{a_1}^2 = \frac{1}{n^2 \cdot S_x^4} \cdot \sum_{q=1}^n \sigma^2 \cdot (\bar{t} - t_q)^2 = \frac{\sigma^2}{n \cdot S_x^2}$$

$$\text{где } \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n t_q = \frac{r}{n}; S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n (\bar{t} - t_q)^2 = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n \left(t_q - \frac{r}{n}\right)^2;$$

где σ^2 – дисперсия опытных значений T_i (дисперсия шума).

На основании полученных выражений и проведённого анализа сформулированы требования к измерительному каналу, соблюдение которых обеспечит заданную точность измерения скорости изменения информативного параметра.

На основании анализа свойств интервальных оценок определим минимальное число отсчётов, при котором обеспечивается непревышение допустимого значения случайной составляющей погрешности:

$$n_{min} = \left(k(P) \cdot \frac{\sigma_{сл}}{\Delta_{слд}} \right)^2, \quad (3)$$

где $\Delta_{слд}$ – допустимое значение случайной составляющей погрешности; $k(P)$ – коэффициент, зависящий от закона распределения и доверительной вероятности (например, для нормального закона распределения вероятности 0.997, этот коэффициент будет равен трем, т.н. правило «трёх сигм»); $\sigma^* = \frac{\sigma_{сл}}{\sqrt{n}}$ – оценка СКО многократного измерения, где n – число измерений, $\sigma_{сл}$ – СКО однократного измерения.

Установлено, что максимальная кривизна модели сигнала (точка 2 рис. 1) может достигаться, когда при максимальной скорости изменения (точка 1 рис. 1) формируется экстренное управляющее воздействие, останавливающее нежелательное развитие процесса, и, в пределе, меняющее скорость изменения сигнала на противоположную (точка 3 рис. 1).

Получен максимальный интервал усреднения $\tau_{имax}$ и максимальный показатель кривизны $|a_2|_{max}$, обеспечивающие нахождение погрешности нелинейности на допустимом уровне:

$$\begin{cases} \tau_{имax} = \left| 4 \cdot \frac{\Delta_{нелин}}{a_1} \right| \\ |a_2|_{max} = \left| \frac{a_1^2}{4 \cdot \Delta_{нелин}} \right| \end{cases} \quad (4)$$

Получено выражение, для максимального интервала дискретизации:

$$\Delta t_{max} = \frac{\tau_{имax}}{n_{min}} = \frac{4 \cdot \left| \frac{\Delta_{нелин}}{a_1} \right|}{\left(k(P) \cdot \frac{\sigma_{сл}}{\Delta_{слд}} \right)^2} = \frac{4 \cdot \Delta_{нелин} \cdot \Delta_{слд}^2}{|a_1| \cdot (k(P) \cdot \sigma_{сл})^2} \quad (5)$$

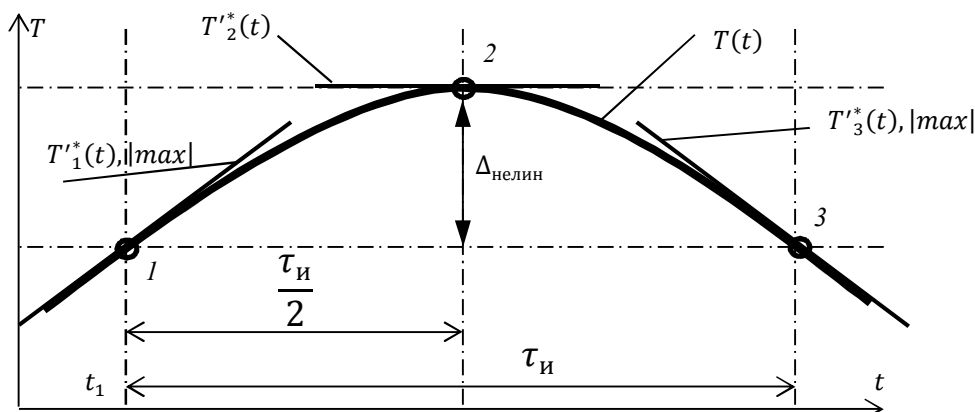


Рис. 1. Модель сигнала в случае максимальной кривизны

В результате анализа пороговых значений T_{iac} и T_{ia} и МХ ИК построено фазовое пространство (Рис. 2), на основании которого разработан алгоритм формирования УВ, состоящий в идентификации текущей ситуации с заданной надёжностью и выработке определённого для данной ситуации УВ.

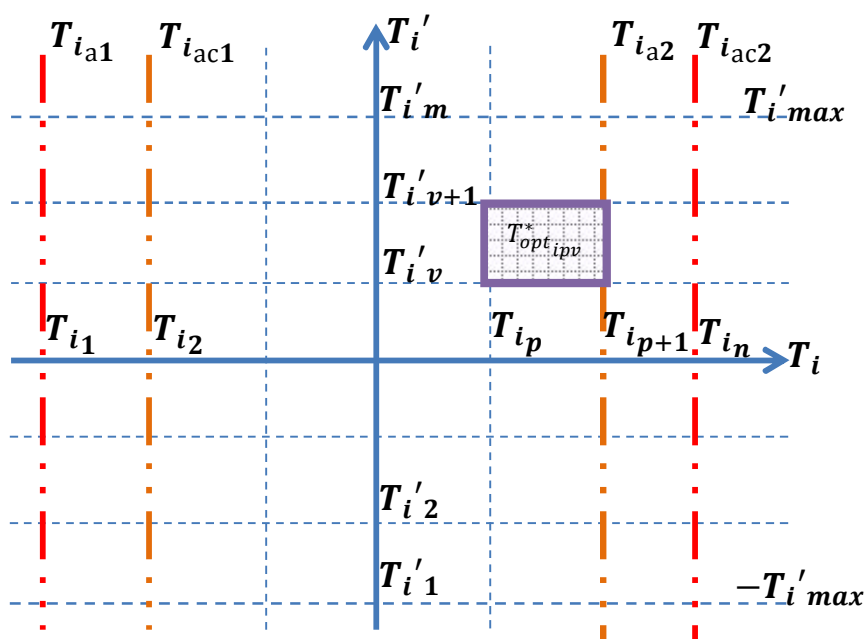


Рис. 2. Фазовое пространство возможных ситуаций

Показано, что в общем виде управляющее воздействие для j -го исполнительного устройства (ИУ) на основании текущей ситуации, представленной i -м информативным параметром, записывается в виде

$$U_{ij}^*(T_i^*, T_i'^*) = F [T_{opt_{ij}}^*, T_i^*, T_i'^*],$$

где $T_{opt_{ij}}^*$ – двумерное множество ситуационных кортежей (фазовое пространство), определяющее область всех возможных состояний ТП по i -му информативному параметру для j -го ИУ (рис. 2).

$$T_{opt_{ij}}^* = \left\{ \left\{ T_{opt_{ijpv}}^* \right\}_{p=1 \dots n-1} \right\}_{v=1 \dots m-1},$$

где n – количество градаций области возможных ситуаций по значению i -го контролируемого параметра; m – количество градаций области возможных ситуаций по значению производной i -го контролируемого параметра; $T_{opt_{ijpv}}^*$ – ситуационный кортеж, содержащий границы интервала значений i -го контролируемого параметра и границы интервала значений скорости изменения i -го контролируемого параметра, определяющих конкретную ситуацию, а также содержащий параметры УВ для j -го ИУ.

$$T_{opt_{ijpv}}^* = \left\{ T_{i_p}, T_{i_{p+1}}, T_{i'_v}, T_{i'_{v+1}}, \left\{ U_{ijpv_k}^* \right\}_{k=1 \dots K_{ijpv}} \right\}, \quad (6)$$

где $[T_{i_p}, T_{i_{p+1}}]$ – интервал значений i -го контролируемого параметра; $[T_{i'_v}, T_{i'_{v+1}}]$ – интервал значений производной i -го контролируемого параметра; $\left\{ U_{ijpv_k}^* \right\}_{k=1 \dots K_{ijpv}}$ – последовательность элементарных управляющих воздействий, где $U_{ijpv_k}^* = \left\{ t_{ijpv_k}^*, A_{ijpv_k}^* \right\}$ – ступенчатое управляющее воздействие с длительностью $t_{ijpv_k}^*$ и амплитудой $A_{ijpv_k}^*$:

$$U_{ijpv_k}^*(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t \leq \sum_{l=1}^{k-1} t_{ijpv_l}^* \\ A_{ijpv_k}^*, & \text{если } \sum_{l=1}^{k-1} t_{ijpv_l}^* < t < \sum_{l=1}^k t_{ijpv_l}^* \\ 0, & \text{если } t \geq \sum_{l=1}^k t_{ijpv_l}^* \end{cases} \quad (7)$$

$T_{opt_{ijpv}}^*(T_i^*, T_i'^*) = ITV(T_{opt_{ij}}^*, T_i^*, T_i'^*)$, где ITV – оператор поиска ситуации, соответствующей T_i^* и $T_i'^*$. Оператор поиска ITV должен удовлетворять следующему критерию:

$$\begin{cases} T_{i_p} \leq T_i^* < T_{i_{p+1}} \\ T_{i'_v} \leq T_i'^* < T_{i'_{v+1}} \end{cases}. \quad (8)$$

Пример оптимального переходного процесса и УВ показан на рис. 3.

Результаты второй главы послужили основой для создания программно-алгоритмического обеспечения ИИУС контроля и управления ТП ТУО.

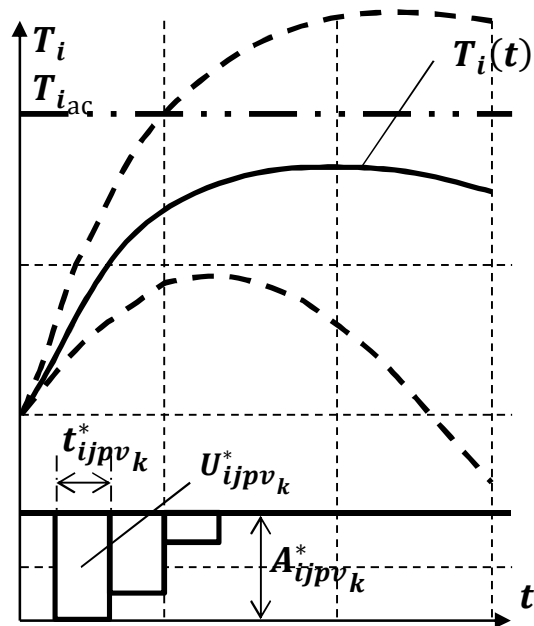


Рис. 3. Пример переходного процесса и управляющего воздействия

Глава 3 посвящена разработке аппаратно-программного обеспечения ИИУС контроля и управления ТП ТУО.

Разработана многоуровневая структура программно-алгоритмического обеспечения ИИУС (рис. 4), не зависящая от состава, расположения и интерфейсов имеющихся средств измерения, что даёт возможность оптимизации состава средств измерений по выбранному критерию независимо от алгоритмического и программного обеспечения.

В работе также представлена обобщённая схема организации аппаратно-программного уровня ИИУС. Для взаимодействия между локальной ИИУС (ЛИИУС) и операционным уровнем системы используются различные стандартные сетевые интерфейсы (Ethernet, RS-485) и протоколы (Serial Modbus, Modbus-TCP, Modbus-UDP).

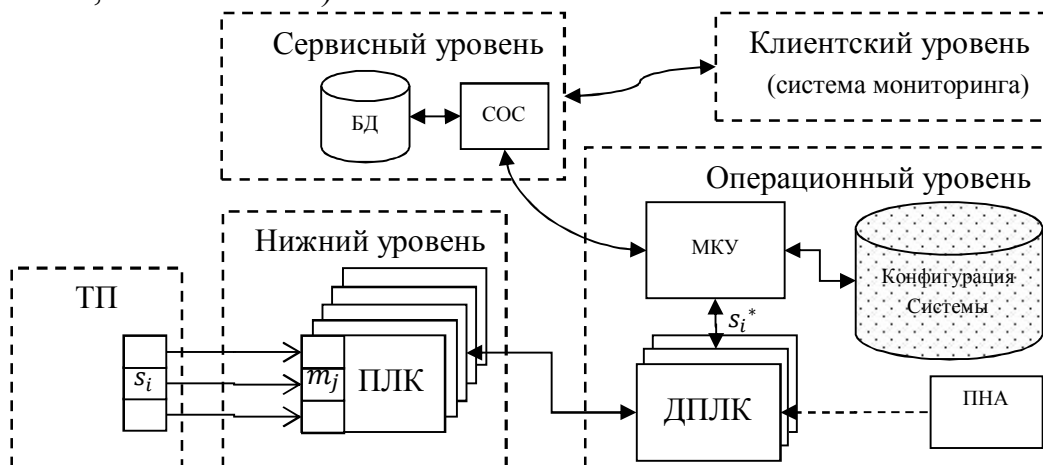


Рис. 4. Структурная схема программного обеспечения ИИУС

Разработана программная структура «логический канал» (ЛК) (Рис. 5), которая обеспечивает получение измеренного значения от объекта (контроль) и задание необходимого управляющего воздействия для объекта (управление) таким образом, что вся реализация получения и преобразования значений и адресов скрыта следующими уровнями абстракций: ЛК; физический канал; узел полевой шины; полевая шина. ЛК позволяет динамически подключать функциональные расширения для повышения точности ИК.

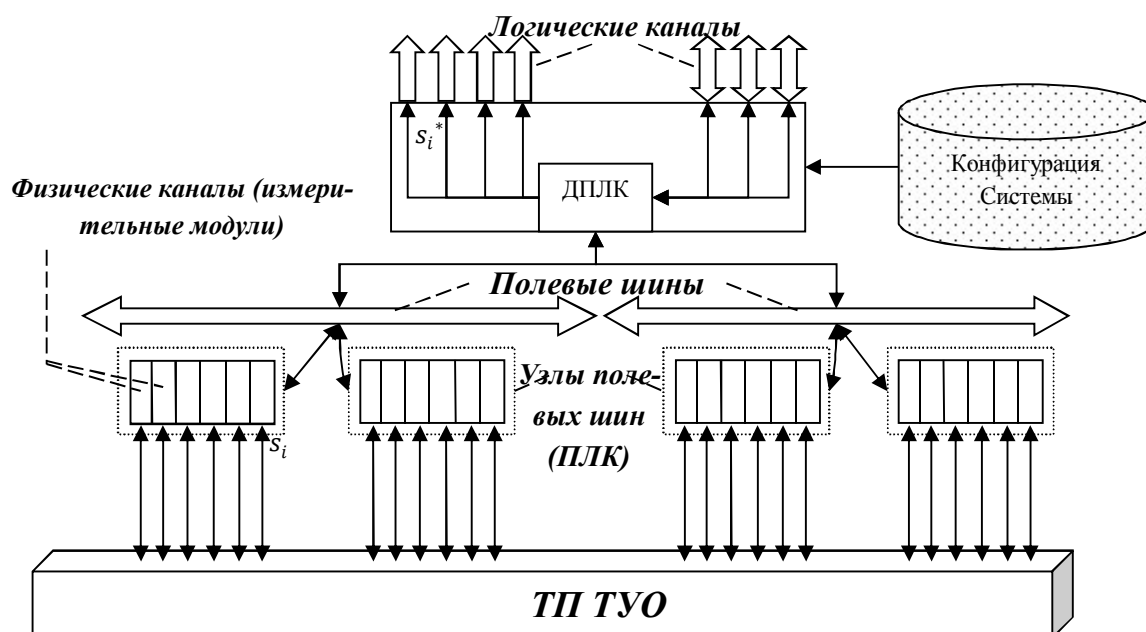


Рис. 5. Операционный уровень

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение обеспечивает возможность подключения различных СИ и требуемую точность результатов измерения. Результат измерения сигнала s_i с помощью СИ m_j имеет вид

$$s_i^* = R_{\text{ЛК}} R_{\text{ИТФ}} R_{\text{Ц}} R_{\text{М}} R_{\text{АЦП}} R_{\text{ВИП}} R_{\text{ПИП}}(s_i),$$

где R – функция преобразования соответствующих блоков ИК: первичного измерительного преобразователя (ПИП), вторичного измерительного преобразователя (ВИП), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), масштабирования, цифровых преобразований, интерфейса, ЛК.

Хранение измерительных данных организовано таким образом, что по ним можно вычислить значения характеристик ТП и их динамику. Это послужило основой системы мониторинга, окно которой представлено на рис. 6. Она входит в состав разработанного программного комплекса, который является основой построения ИИУС контроля и управления ТП ТУО, реализованной в ЗАО «ТД Турмалин», ООО «Фортуна» и НИР ИИСТ-27.

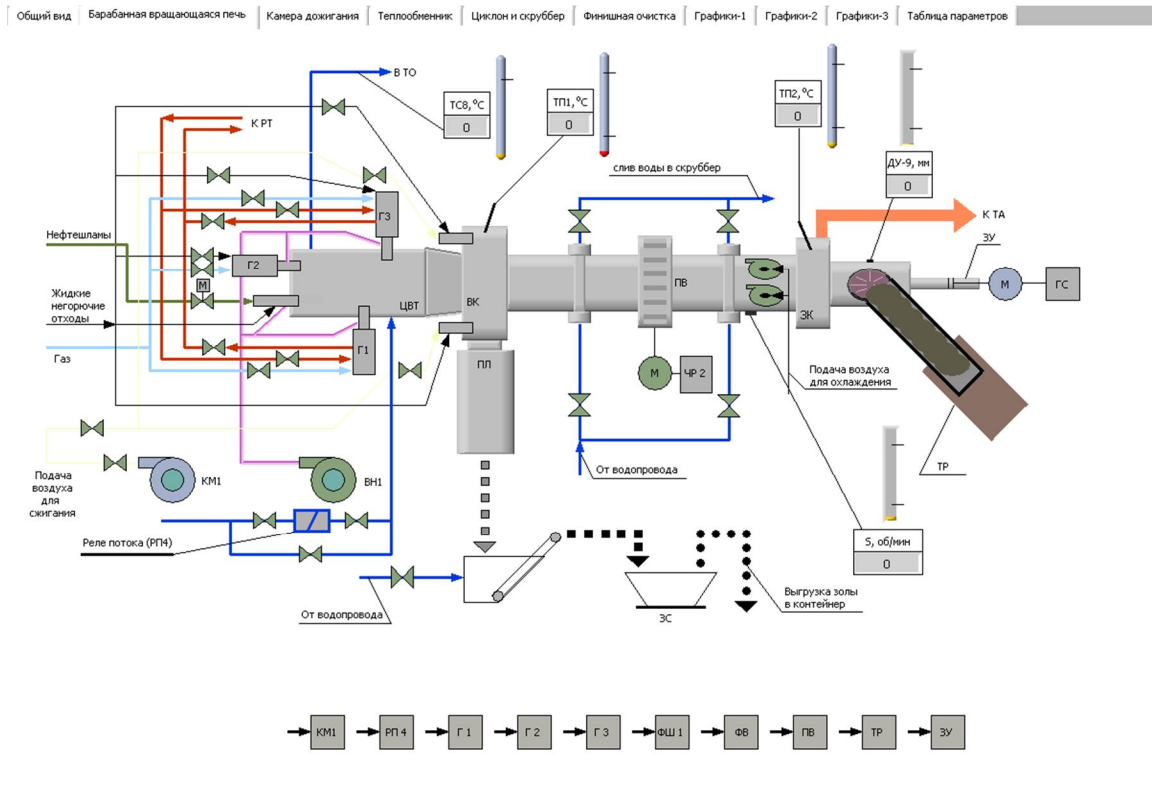


Рис. 6. Окно системы мониторинга

Глава 4 посвящена реализации методики создания ИИУС.

В рамках решения задачи оптимизации состава ИС ИИУС разработан алгоритм (А1) определения состава СИ ИИУС, который состоит из следующих этапов:

1. Формирование ТЗ. Определяется множество измеряемых сигналов $S = \{s_i = \{\omega_{i\theta_s}\}; i \in I; \theta \in \Theta_s\}$ и их характеристик. Для каждого сигнала формируется вектор параметров сигнала $s_i = \{\omega_{i\theta_s}\}$, представляющий собой перечень требований для измерения. Формируются показатели качества системы, которые выступают в качестве критерия эффективности: $v[\omega_{\theta_j}(m_{ij})] \geq \Omega_{\theta_s}, \theta \in \Theta_1; v[\omega_{\theta_j}(m_{ij})] \geq \Omega_{\theta_s}, \theta \in \Theta_2;$
 $V[\omega_{\theta_j}(m_{ij})] = \sum_{j \in J_s} \sum_{\theta \in \Theta_4} \alpha_{\theta} \cdot \omega^H_{\theta_{ij}}(m_{ij}) \rightarrow \min.$ Затем определяется множество СИ $M = \{m_j = \{\omega_{j\theta_s}\}\}$ и для каждого СИ формируется вектор его метрологических и технических параметров.
2. Сокращение пространства поиска путем отсеивания средств, не удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к СИ параметрами сигналов $M' = GE_{\theta \in \Theta_1}(M, S).$ В случае $M' = \emptyset$ осуществляется переход к шагу 1.
 $\theta \in \Theta_2$
 $\theta \in \Theta_3$
3. Сокращение пространства поиска путем отсеивания средств, не удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к реализации системы
 $M'' = GE_{\theta \in \Theta_1}(M', S)$
 $\theta \in \Theta_2$

В случае $M'' = \emptyset$ осуществляется переход к шагу 1.

4. Определение номенклатуры СИ для построения ИИУС, оптимальной относительно выбранного критерия эффективности

$$M_S = \left\{ \bigcup_{i \in I} m_{js} = \beta_{ij} m_{ij} (V\{m_{ij}\} = \min) \right\}$$

В случае $M_S = \emptyset$ осуществляется переход к шагу 1.

В работе показано, что предложенный алгоритм позволяет определить состав СИ ИИУС, обеспечивающий все требования контрольных измерений для заданного ТП и минимальное значение критерия эффективности.

Разработана методика построения ИИУС контроля и управления ТП ТУО, которая содержит следующие этапы:

1. Анализ ТП ТУО и определение моделей измеряемых сигналов;
2. Анализ МХ и формирование требований к ИК, назначение порогов аварийного состояния и аварии (1)-(2);
3. Анализ динамических характеристик процесса и формирование требований к ИК (3) – (5);
4. Построение фазового пространства (рис. 2);
5. Разработка и назначение алгоритмов управления (6)-(8);
6. Формирование ТЗ на определение состава СИ ИИУС и выбор состава СИ ИИУС (алгоритм А1);
7. Настройка программно-аппаратной системы на реализацию функций спроектированной ИИУС (Рис. 8).

Результаты диссертационной работы внедрены в ЗАО «ГД Турмалин» в виде локальной системы контроля и управления печью и системы мониторинга (рис. 6). Примеры реализации локальной системы управления печью и настройки системы приведены на рис. 7 и рис. 8 соответственно.



Рис. 7. Реализация ЛИИУС

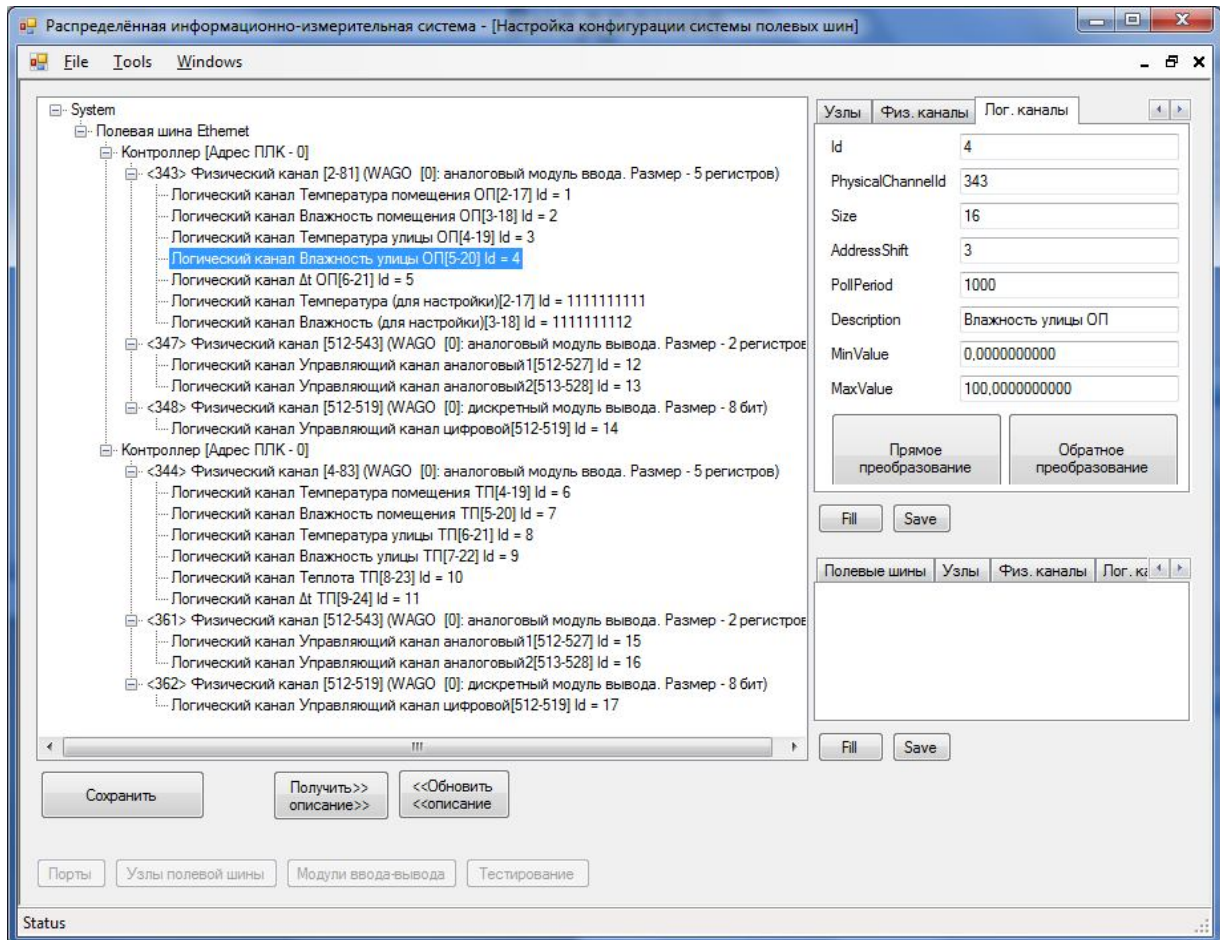


Рис. 8. Окно настройки ИИУС контроля и управления ТП ТУО

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы:

1. Сформулированы требования к МХ ИК, обеспечивающих контроль текущих значений и скоростей протекания ТП ТУО с заданной точностью в условиях шумов с целью надёжной идентификации аварийных ситуаций;
2. Предложен алгоритм формирования УВ, отличающийся обеспечением оптимального перехода процесса из одного состояния в другое для предотвращения аварийной ситуации с заданной надёжностью;
3. Разработана и реализована структурно-алгоритмическая организация программной системы управления, отличающаяся возможностью подключения различных СИ с целью их оптимизации и обеспечения требуемой точности результатов измерения для обеспечения надёжности идентификации аварийных ситуаций и управления ТП ТУО;
4. Предложена методика построения ИИУС с эффективно выбранной номенклатурой СИ, рассчитанная на использование функциональных возможностей разработанного программно-алгоритмического обеспечения;
5. Разработанный программный комплекс является основой построения ИИУС контроля и управления ТП ТУО, реализованной в ЗАО «ТД Турмалин» и ООО «Фортуна», а также при выполнении НИР (ИИСТ-27), о чём получены акты о внедрении.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК России:

1. В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, О.А. Иващенко, *ИИС контроля состояния природных объектов на основе геоинформационных технологий. Формирование нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок* // Известия СПб ГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010, – №8. – С. 77-85.
2. В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, О.А. Иващенко, *ИИС контроля состояния природных объектов на основе геоинформационных технологий. Формирование нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок. Часть 2* // Известия СПб ГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010, – №9. – С. 87-96.
3. В.В. Алексеев, О.А. Иващенко, *Программно-алгоритмическое обеспечение распределенной информационно-измерительной и управляющей системы мониторинга состояния энергопотребления* // Приборы. – 2012, – №2. – С. 25-36.
4. В.В. Алексеев, О.А. Иващенко, *Измерение скорости протекания процессов в информационно-измерительных и управляющих системах с целью предупреждения аварийных ситуаций* // Приборы. – 2013, – №8. – С. 23-36.

Учебные пособия

5. В.В. Алексеев, О.А. Иващенко, В.С. Коновалова, К.О. Комшилова, П.Г. Королев, *Измерительно-вычислительные системы на базе ПЛК (применение в технологических процессах)* // Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПб ГЭТУ "ЛЭТИ". – 2012.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

6. О.А. Иващенко, В.В. Алексеев Диспетчер ПЛК 1.0. РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2011615871 от 3.06.2011
7. О.А. Иващенко, В.В. Алексеев Система обмена сообщениями. РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2012613485 от 22.02.2012
8. О.А. Иващенко, В.В. Алексеев Клиент нижнего уровня 1.0 (LowLevelClient). РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2012613487 от 22.02.2012
9. О.А. Иващенко, В.В. Алексеев Модуль контроля и управления 1.0 (ControlManagementUnit). РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2012613486 от 22.02.2012
10. О.А. Иващенко, В.В. Алексеев Клиент верхнего уровня 1.0 (HighLevelClient). РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2012617814 от 11.07.2012
11. О.А. Иващенко, В.В. Алексеев Утилита импорта XML-данных 1.0 (DataImporter). РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2012617813 от 11.07.2012

Другие статьи и материалы конференций

12. Н.И. Куракина, О.А. Иващенко, Н.В. Гавричкина, А.А. Кондрашова. *Анализ экологического состояния помещений с использованием геоинформационных технологий*// Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий. Труды научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29 ноября 2006г, – СПб.: Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2006. – С. 60-64.
13. Н.И. Куракина, О.А. Иващенко, Н.В. Гавричкина, А.А. Кондрашова, *ГИС в вопросах хозяйственного учета и управления ВУЗом* // ArcReview. – 2006, – №4(39). – С. 9.
14. Н.И. Куракина, О.А. Иващенко, В.Н. Микушина. *Система хранения, обработки и представления распределённой экологической информации на базе геоинформационных технологий*// «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов // Материалы международного конгресса. Том 1. Научно-практическая конференция «Транспортно-коммуникационная система Арктики в геополитическом взаимодействии и управлении регионами в условиях чрезвычайных ситуаций» Санкт-Петербург, 13-14 ноября 2009 г, – СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2009. – С. 109-111.
15. О.А. Иващенко. *Распределённая информационно-измерительная система мониторинга технологического процесса*// «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов // Материалы международного конгресса. Том 1. Научно-практическая конференция «Транспортно-коммуникационная система Арктики в геополитическом взаимодействии и управлении регионами в условиях чрезвычайных ситуаций», Санкт-Петербург, 13-14 ноября 2009 г, – СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2009. – С. 102-105.
16. О.А. Иващенко. *Разработка распределённой информационно-измерительной системы мониторинга технологического процесса*// «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов // Материалы международного конгресса. Том 1. Научно-практическая конференция «Научоёмкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий»: материалы научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12-13 ноября 2010 г, – СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2010. – С. 143-147.
17. В.В. Алексеев, О.А. Иващенко. *Алгоритмическое обеспечение информационно-измерительных и управляющих систем мониторинга состояния технологического процесса*// Проблемы автоматизации и управления в технических системах: Труды Международной научно-технической конференции, – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2011.
18. В.В. Алексеев, О.А. Иващенко. *Алгоритмическое обеспечение информационно-измерительных и управляющих систем мониторинга*

технологического процесса// Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых 64-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава университета, С-Пб.: издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. – С. 180-184.

19. В.В. Алексеев, О.А. Иващенко. *Прогнозирование развития ситуации на фоне случайных шумов*// «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов // Материалы международного конгресса. Том 1. Научно-практическая конференция «Научоёмкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий»: материалы научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 24-25 ноября 2011 года, – СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2011. – С. 63-66.