

На правах рукописи

Пономарев Алексей Анатольевич

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕКУЩЕЙ ОПАСНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ,
управление и обработка информации
(отрасль: информация и информационные системы)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск - 2006

Работа выполнена на кафедре “Автоматики и компьютерных систем” Томского политехнического университета (ТПУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Цапко Г.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кочегуров В.А.

Ведущая организация: кандидат технических наук
Масальский Г.Б.
Научно-исследовательский институт автоматизации и электромеханики при Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

Защита состоится “___” июня 2006 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.06 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84, институт «Кибернетический Центр» ТПУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан “03” мая 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.269.06



М.А. Сонькин

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Оценка опасностей - одна из приоритетных задач управления промышленной безопасностью, а также задачи разработки и внедрения современных методов прогнозирования опасности, анализа потенциальных источников предаварийных ситуаций.

Развитие цифровой вычислительной техники значительно расширило сферы её применения, в том числе и для нужд промышленности. В автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системах противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ) стало возможным решение сложных задач расчета, анализа и прогнозирования аварийных ситуаций, моделирование технологических процессов и получение многовариантных решений. Следует отметить, что хотя эти задачи и относятся к классу задач систем управления, тем не менее, предлагаемое на рынке программное обеспечение АСУ ТП не решает в полной мере задачи обеспечения безопасности. Число элементов и параметров технологической установки, способных в той или иной мере повлиять на возникновение и развитие аварийной ситуации, в зависимости от сложности процесса может достигать десятков и сотен. В сложных системах отказы отдельных элементов не всегда приводят к отказу всей системы, кроме того, у сложных систем есть целый спектр состояний – динамическое равновесие, нарушение равновесия, адаптация к неблагоприятным ситуациям, опасные и критические ситуации и, наконец, аварии. В связи с этим анализ риска подобных технологических систем - это достаточно сложная задача, требующая знаний технологии, особенностей элементов системы и взаимосвязи их между собой.

В настоящее время задача определения рисков технологического процесса должным образом не решается и, в лучшем случае, подменяется на этапе проектирования качественным анализом надежности системы и возможных последствий аварий. Разработка, адаптация к условиям различных отраслей промышленности и дальнейшее развитие методов количественной оценки опасности и анализа текущего риска при функционировании промышленных установок и объектов является в настоящее время актуальной проблемой.

Оснащение технологических процессов системами ПАЗ предназначенными для обеспечения промышленной безопасности, является обязательным условием при проектировании, строительстве и реконструкции опасных промышленных объектов и установок. Такие системы обеспечивают останов технологического процесса или перевод его в безопасное состояние, что позволяет избежать аварии, но приводит к серьезным последствиям и значительным потерям.

Снижение частоты останова процесса может быть достигнуто решением задачи оценки и анализа текущей опасности процесса в реальном времени, чтобы заблаговременно предупредить персонал и тем самым предотвратить развитие аварийной ситуации. Очевидно, что для учета влияния большого числа параметров процесса на степень опасности, а также их взаимосвязи в реальном масштабе времени, необходимы специальные методы и соответствующие технические и программные средства.

Цели работы и задачи исследования. Основная цель диссертационной работы состоит в формулировании показателя текущей опасности технологического

процесса, в разработке алгоритмов его оценки в реальном масштабе времени и исследовании его свойств.

Для ее достижения в диссертационной работе решены следующие задачи:

- введен количественный показатель текущей опасности (ПТО) технологического процесса и получена формула для его расчета;
- разработаны алгоритмы оценки ПТО для систем, работающих в реальном масштабе времени, с учетом текущих значений опасных технологических параметров;
- исследованы свойства и характеристики ПТО;
- разработано и исследовано соответствующее программное обеспечение для промышленных систем управления и систем ПАЗ в условиях, приближенных к конкретному технологическому процессу промышленного предприятия.

Методы исследования. В работе использованы методы математического и статистического анализа, нечеткой логики, имитационного моделирования с применением инструментальных средств автоматизации математических и инженерных вычислений MATLAB, интегрированной среды разработки Borland Delphi. Указанные программные средства позволили организовать совместную работу и доступ к общим данным на основе технологий OPC (OLE for Process Control) и ODBC.

Научную новизну полученных в работе результатов определяют:

- сформулированный автором ПТО как количественная мера текущей опасности технологического процесса и формулы для его расчета;
- разработанные алгоритмы оценки ПТО для промышленных систем управления и систем ПАЗ;
- структура и состав имитационной модели технического объекта или процесса.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Практически значимыми результатами работы являются:

- имитационная модель парового котла избыточного давления;
- разработанные автором способы и алгоритмы определения текущей опасности в виде численного значения;
- методика разработки драйверов для организации обмена текущими данными о состоянии ТП посредством технологии OPC в среде Microsoft Windows.

Созданный программный комплекс прошел апробацию и используется на промышленных предприятиях: ООО “Томскнефтехим” г. Томск и в учебном процессе кафедры АиКС ТПУ.

На защиту выносятся:

- тезис о необходимости и актуальности формулирования количественного показателя текущей опасности технологического процесса и математическая формулировка такого показателя;
- алгоритмы расчета ПТО по текущим данным с использованием различных методов;
- результаты исследования свойств и характеристик ПТО;
- имитационная модель технологического процесса, используемая при решении задачи оценки ПТО;
- способ и программная реализация задачи сопряжения программных средств при имитационном моделировании системы и объекта управления на базе технологий OPC, ODBC;

- результаты практического применения разработанного алгоритмического и программного обеспечения для системы ПАЗ вспомогательного котла завода “Метанол” г. Томск.

Апробация работы. Основной материал представлен в научных докладах, которые обсуждались на следующих конференциях и форумах

Открытая окружная конференция молодых ученых «Наука и инновации XXI века» (Сургут, 2003).

IV Всероссийская научно-практическая конференция «Современные средства и системы автоматизации» (Томск, 2003).

II молодежный научно-практический форум «Информационные технологии в XXI веке» (Днепропетровск, 2004).

VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Научное творчество молодежи» (Томск, 2004).

Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (Томск, 2004).

IV Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные технологии в экономике, науке и образовании» (Бийск, 2004).

II и IV Всероссийские научно-практические конференции студентов «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 2004).

Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», посвященная 400-летию города Томска (Томск, 2004).

Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления» (Томск, 2005).

V Всероссийская научно-практическая конференция "Современные средства и системы автоматизации" (Томск, 2005).

Работа поддержана грантом Томского политехнического университета на проведение молодыми учеными научных исследований в научно-педагогических коллективах подразделений ТПУ.

Результаты работы также нашли отражение в отчетах по НИР на тему «Системы автоматической противоаварийной защиты (ПАЗ) технологических процессов взрывоопасных производств ООО «Томскнефтехим», выполненной по договору 8-06/2005 в 2005-2006 гг. гос. рег. № 01200603740:

Часть 1 - Системы ПАЗ. Обзор и анализ требований нормативной документации. Современное состояние и тенденции развития;

Часть 2 - Рекомендации по замене, модернизации и развитию систем ПАЗ на ООО «Томскнефтехим»;

Часть 3 - Оценка и контроль текущей опасности технологического процесса.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников 144 наименований и двух приложений. Объем основного текста диссертации - 177 страниц машинописного текста, иллюстрированного 47 рисунками и 16 таблицами.

Основное содержание работы

Во введении дается обоснование актуальности работы в данном научном направлении, формулируется цель и задачи исследования, приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе дается описательная и математическая постановка задачи количественной оценки текущей опасности процесса в виде показателя. Формулируются основные свойства и ограничения, которым должен удовлетворять ПТО, ставится новая задача системы ПАЗ - оценка и контроль показателя текущей опасности процесса.

Текущая опасность является показателем процесса под управлением АСУ ТП, который может принимать различные значения в зависимости от качества управления и других факторов. Интуитивно понятно, что текущая опасность процесса может быть незначительной, если все опасные параметры процесса поддерживаются в установленных границах, или увеличиваться, принимая угрожающий характер, при отклонении таких параметров от нормы. Поэтому возникает идея описания степени текущей опасности процесса с помощью некоторого количественного показателя, значения которого зависели бы от отклонений параметров, связанных с безопасностью процесса.

Ведение такого показателя позволит осуществлять косвенное измерение степени текущей опасности процесса со всеми вытекающими из этого возможностями.

Необходимо отметить, что некоторая количественная характеристика опасности процесса уже была введена в нормативной документации. В соответствии с этими документами в качестве количественной характеристики опасности процесса рассматривается риск, измеряемый, как правило, в денежных единицах.

Однако риск является обобщенной оценкой опасности (или безопасности) процесса, он рассматривает материальные, социальные, экологические и другие аспекты и не может быть использован для измерения или оценки степени опасности технологического процесса в конкретный момент времени. Риск можно рассматривать как интегральный показатель опасности, который эффективно используется на стадии проектирования опасных производств.

В работе вводится специальный показатель, как количественная характеристика степени текущей опасности технологического процесса, который может быть рассчитан (измерен) в любой момент времени. Результаты измерения показателя могут быть представлены оператору или использованы для решения других задач.

Основной задачей систем ПАЗ является предупреждение аварийной ситуации во всех режимах работы и обеспечение безопасного останова или перевода процесса в безопасное состояние по заданной программе.

Предупреждение аварийной ситуации требует решения в системе ПАЗ задачи анализа состояния процесса при изменении параметров в сторону критических значений. Однако до настоящего времени из-за отсутствия методов и алгоритмов такая задача не решалась.

В данной работе предлагается способ решения такой задачи путем косвенного измерения степени текущей опасности процесса.

Измерение базируется только на текущих значениях непрерывных технологических параметров процесса, связанных с безопасностью и не учитывает других факторов, таких как состояние оборудования и элементов системы управления. Поэтому предложенный подход следует рассматривать только как первый этап полной количественной оценки текущей опасности технологического процесса.

Если технологический процесс характеризуется опасными параметрами, все значения которого лежат в зоне допустимых значений S_0 (рисунок 1), текущая опасность может считаться нулевой. В случае, если один или несколько параметров пе-

переходят в зону опасных значений S_1 , текущая опасность увеличивается, и она будет возрастать по мере приближения параметров к зоне критических значений S_2 .

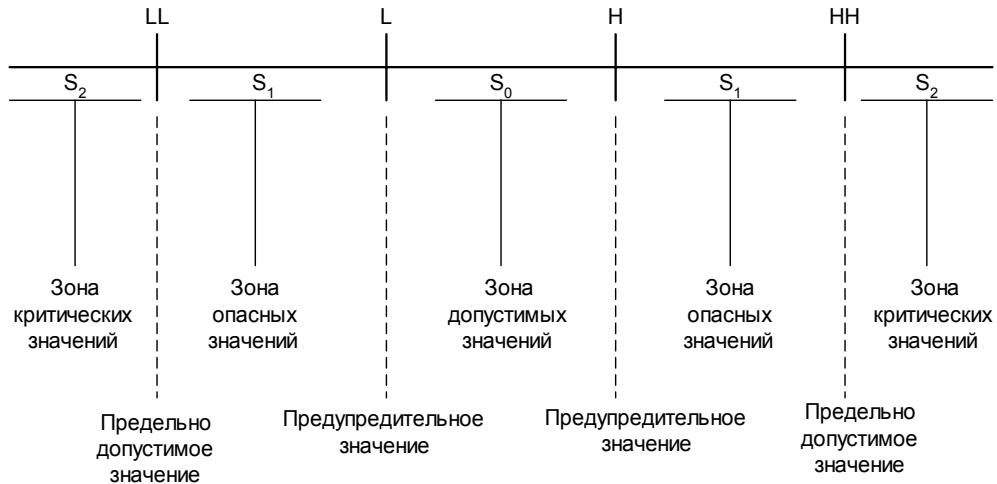


Рисунок 1 - Состояния технологического параметра

Интуитивно понятно, что текущая опасность процесса должна зависеть от числа опасных параметров, одновременно находящихся в зоне S_1 , от степени приближения каждого параметра к зоне S_2 и от степени влияния каждого опасного параметра на возможность возникновения аварийной ситуации.

Обозначим ПТО через $C = C(\bar{X})$, где $\bar{X} = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ - вектор значений опасных параметров ТП, n - число опасных параметров.

Показатель опасности C должен удовлетворять следующим требованиям.

1. Быть скалярной безразмерной величиной, изменяющейся от 0 до 1.

$$C = (0 \div 1).$$

2. Должен быть функцией опасных технологических параметров x_i .

$$C = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n).$$

3. Значения показателя C должны зависеть от значений всех опасных технологических параметров, когда они находятся в зоне опасных значений.

$$0 < C < 1,$$

если $\exists(x_i): S_i = S_1, i = 1..n$

или $\exists(x_i): (x_{iLL} > x_i > x_{iL}) \vee (x_{iH} > x_i > x_{iHH})$,

где x_{iL}, x_{iH} - предупредительные значения параметров,

x_{iLL}, x_{iHH} - предельно допустимые значения параметров (рисунок 1).

4. Значения показателя равно нулю, если все технологические параметры находятся в зоне допустимых значений.

$$C = 0,$$

если $\forall(x_i): S_i = S_0, i = 1..n$.

5. Значение показателя равно единице, если хотя бы один технологический параметр находится в зоне критических значений.

$$C = 1,$$

если $\exists(x_i): S_i = S_2, i = 1..n$.

6. Показатель текущей опасности должен быть возрастающей функцией своих аргументов.

Если

C_1 - значение показателя C при $x_i = x_{i1}$,

C_2 - значение показателя C при $x_i = x_{i2}$,

$x_{i1} < x_{i2}$, то $C_1 < C_2$.

7. Показатель текущей опасности должен возрастать с увеличением числа параметров в опасной зоне.

Если

C_1 - значение показателя C при $x_i = x_{i1}$, $S_i = S_{i1}$;

C_2 - значение показателя C при $x_i = x_{i1}$, $x_j = x_{j1}$, $S_i = S_{i1}$, $S_j = S_{j1}$;

то $C_1 < C_2$.

8. Показатель текущей опасности должен учитывать степень влияния каждого опасного параметра на возможность возникновения аварийной ситуации.

Если

C_1 - значение показателя C при $x_i = x_{i1}$,

C_2 - значение показателя C при $x_j = x_{j1}$,

и если степень влияния x_i будет меньше, чем степень влияния x_j ,

то $C_1 < C_2$.

9. Показатель текущей опасности должен быть применим в любом режиме функционирования процесса (нормальный режим, пуск, останов).

Содержание и последовательность проведения основных исследований в диссертационной работе показаны на рисунке 2.

Предложенная формула вычисления ПТО при использовании в реальных системах требует специального алгоритма нормирования и упорядочивания параметров.

Исследование алгоритма и основных свойств ПТО проведено с помощью программного пакета Mathcad 12.

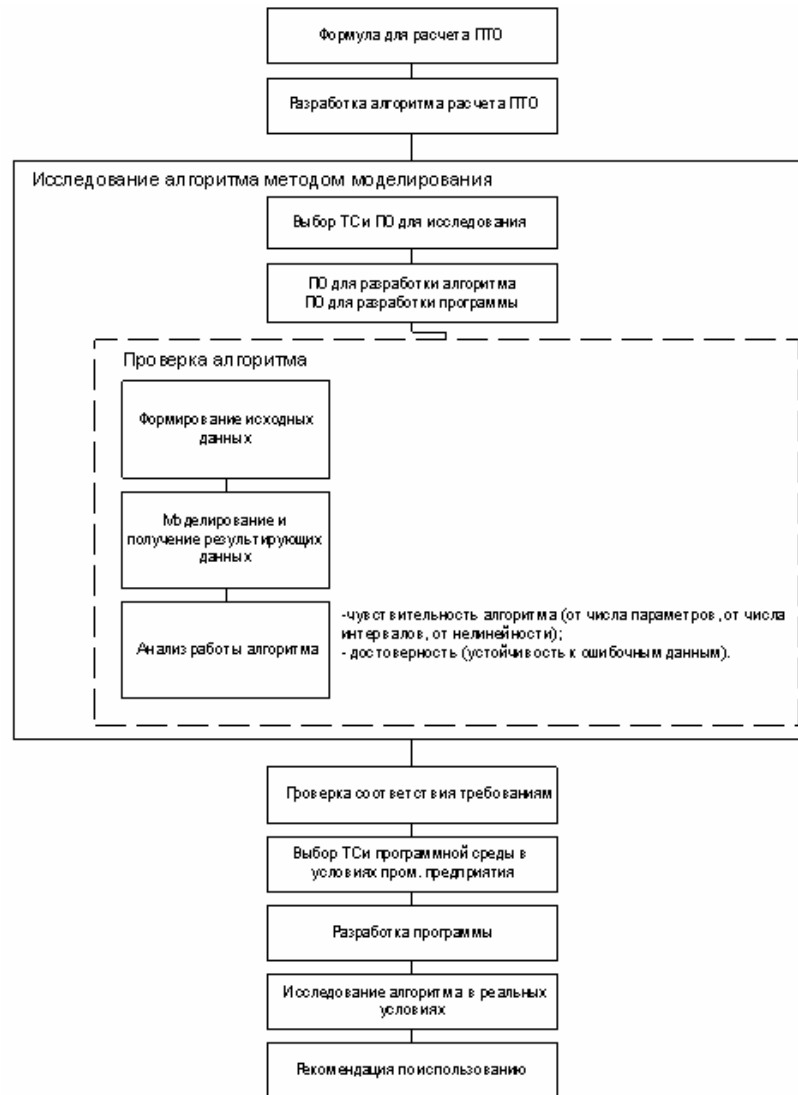


Рисунок 2 - Содержание и последовательность исследований

Во второй главе приведена предложенная автором формула расчета ПТО для произвольного числа опасных параметров. Показатель вычисляется в безразмерной форме в диапазоне 0-1 (0-100%) и использует значения опасных параметров тоже в безразмерной форме.

Автором предложена процедура нормирования параметров, участвующих в расчете ПТО.

Предложен способ учета степени влияния параметров на возможность возникновения аварийной ситуации путем их ранжирования. Показано, что определяемый таким образом ПТО удовлетворяет требованиям, сформулированным в первой главе.

Проведены исследования основных свойств ПТО: чувствительности и помехоустойчивости и приведены результаты расчетов для различных значений опасных параметров, находящихся в опасной зоне. Сделан вывод о возможности и целесообразности использования предложенного ПТО в промышленных системах безопасности.

Расчет ПТО производится по формуле (1), где $\bar{X} = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ вектор нормированных значений параметров ТП, упорядоченных по их убыванию.

$$C(\bar{X}) = \sqrt{\frac{x_1^2}{\prod_{i=2}^n (1+x_i^2)} + \sum_{i=2}^n \frac{x_i^2}{\prod_{k=i}^n (1+x_k^2)}} \quad (1)$$

В общем случае процесс характеризуется n - мерным вектором ТП $\bar{X}(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Каждый параметр может иметь одну или две зоны опасных значений (Н и L).

Если параметр x_i ($1 \leq i \leq n$) имеет одну или две зоны опасных значений, преобразование его текущего значения в нормированную величину v_i выполняется по формуле (2)

$$v_i = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i \leq x_i^{LL}, \\ \frac{x_i - x_i^{LL}}{x_i^L - x_i^{LL}}, & \text{если } x_i^{LL} < x_i < x_i^L, \\ 0, & \text{если } x_i^L \leq x_i \leq x_i^H, \\ \frac{x_i - x_i^H}{x_i^{HH} - x_i^H}, & \text{если } x_i^H < x_i < x_i^{HH}, \\ 1, & \text{если } x_i \geq x_i^{HH}. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь:

x_i - текущее значение параметра;

x_i^L, x_i^H - предупредительные значения параметра;

x_i^{LL}, x_i^{HH} - предельно допустимые значения параметра.

Степень влияния параметра на возможность возникновения аварийной ситуации при отклонении этого параметра от нормы задается путем ранжирования, т.е. присвоения параметру определенного коэффициента (ранга).

Ранг параметра r представляет собой положительную целочисленную величину: $r = 1, 2, \dots$.

Предполагается, что ранжирование параметров осуществляется при проектировании технологических процессов и не является предметом настоящего исследования. В работе предложен следующий способ учета различных рангов опасных параметров при вычислении ПТО.

Если ранг параметра равен единице, нормированное значение этого параметра используется в формуле (1) один раз, если ранг равен r , то - r раз.

На рисунках 3 - 5 приведены в качестве примера зависимости показателя текущей опасности C от значений параметров x и v для $n = 1, 2$ и $r = 1, 2$.

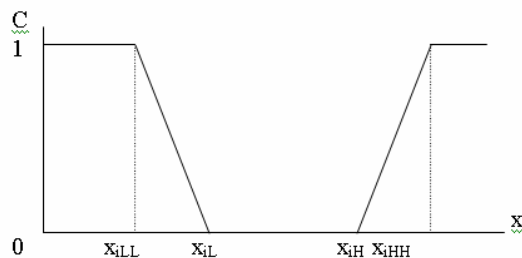


Рисунок 3 - Зависимость $C(x)$ для $n = 1$.

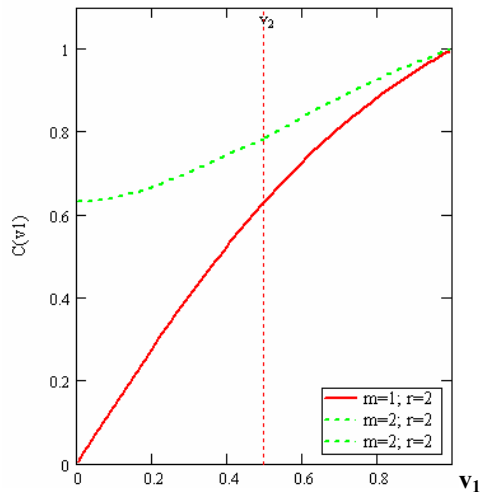


Рисунок 4 - Зависимости $C(v_1)$ для $n = 1$ и 2 и $r_1 = r_2 = 2$

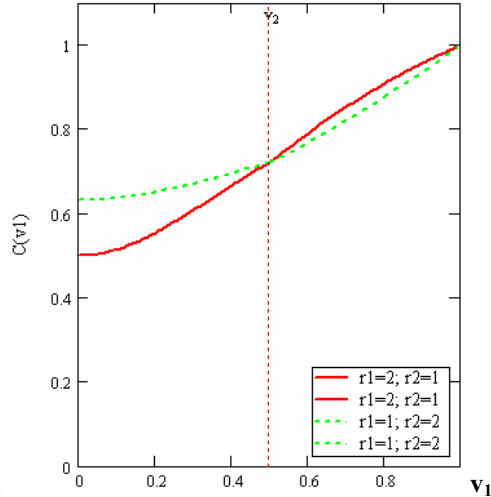


Рисунок 5 - Зависимости $C(v_1)$ для $n = 2$, $r_1 > r_2$ и $r_1 < r_2$

В результате анализа этих и других исследуемых зависимостей сделаны следующие выводы:

1. $C = 0$, если все v_i равны 0.
2. $C = 1$, если хотя бы один параметр из v_i равен 1.
3. $0 < C < 1$, если хотя бы один параметр из v_i больше нуля и меньше 1 (соответствующий параметр x_i находится в опасной зоне).
4. Если при нахождении одного или нескольких параметров в опасной зоне еще один параметр тоже попадает в опасную зону, показатель C возрастает.
5. Если $n = 1$ и $r_1 = 1$, то $C = v_1$, т.е. показатель опасности C пропорционален параметру v_1 .
6. Если $n = 1$ и $r_1 = 2$, то зависимость C от v_1 нелинейная. Показатель опасности в этом случае больше, чем при $r_1 = 1$ для одних и тех же значений v_1 .
7. Если $n > 1$, то все зависимости C от v_1 нелинейные. При этом значения показателя опасности тем выше, чем больше параметров находится в опасной зоне.
8. Чем выше ранг параметров, находящихся в опасной зоне, тем выше показатель опасности при прочих равных условиях.

Таким образом, все исходные требования к ПТО, сформулированные в первой главе, выполнены и показатель C как количественная мера текущей опасности технологического процесса, вычисляемый предложенным способом, соответствует интуитивным представлениям о степени опасности.

Важной характеристикой ПТО, определяющей его помехоустойчивость и погрешность оценки, является чувствительность к изменению параметров. В работе исследована чувствительность ПТО при различном числе и различных рангах параметров, при различных значениях и соотношениях между параметрами, одновременно находящимися в опасной зоне.

В качестве примера на рисунке 6 приведены зависимости чувствительности $s(x_1, x_2)$ от параметров x_1 и x_2 для $n = 2$. Расчет выполнен по формулам (3, 4, 5).

$$s_{11} = \frac{dC}{dv_1} = 1, \quad (3)$$

$$s_{21} = \frac{dC}{dv_1} = \frac{v_1}{(1+v_2^2) \cdot \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{1+v_2^2}}}, \quad (4)$$

$$s_{22} = \frac{dC}{dv_2} = \frac{v_2(1+v_1^2)}{(1+v_2^2) \cdot \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2}{1+v_2^2}}}, \quad (5)$$

где $s1(v_1)$, $s21(v_1)$ чувствительность показателя к изменению параметра v_1 , а $s22(v_1)$ чувствительность показателя к изменению параметра v_2 .

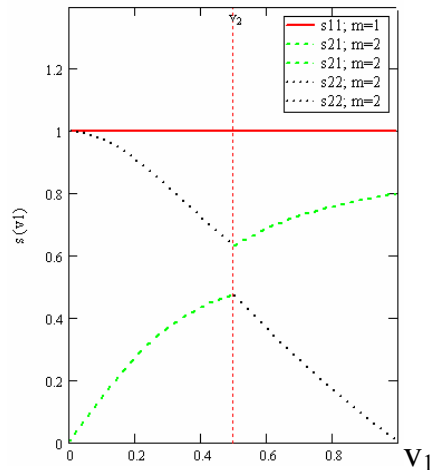


Рисунок 6 - Зависимости $s1(v_1)$, $s21(v_1)$ и $s22(v_1)$

Основные результаты и выводы, полученные при исследовании чувствительности, сведены к следующему.

1. При нахождении в опасной зоне двух параметров с $r = 1$ чувствительность обладает следующими свойствами:

- выше для того параметра, который имеет большее значение;
- является нелинейной функцией к изменению любого параметра;
- всегда имеет значения меньше единицы к изменению любого параметра;
- начинается от нуля при изменении меньшего параметра от нуля;
- по отношению к меньшему параметру стремится к нулю при приближении большего параметра к единице;
- имеет разрыв при равенстве значений двух параметров; при этом чувствительность к изменению большего параметра резко возрастает, а к изменению меньшего параметра резко падает;
- имеет место значительное повышение чувствительности с увеличением ранга параметра в начале опасной зоны и снижение чувствительности в конце зоны.

2. Если ранг $r_1 > 1$, чувствительность показателя к изменению этого параметра становится нелинейной убывающей функцией.

3. С повышением ранга чувствительность возрастает в начале опасного диапазона и снижается в конце диапазона.

4. Чем выше ранг параметра, тем выше чувствительность показателя к его изменению.

5. С увеличением ранга одного параметра чувствительность показателя к изменению другого параметра уменьшается.

6. При приближении значения любого параметра к 1 чувствительность к другим параметрам падает до нуля.

7. Для параметров с одинаковыми рангами, большими единицы наблюдаются следующие свойства:

- чувствительность показателя к изменению большего по значению параметра всегда выше чувствительности к изменению меньшего параметра и максимальна в середине опасной зоны, а не на границах;
- характер зависимости чувствительности к изменению меньшего по значению параметра сохраняется и стремится к нулю при приближении большего параметра к 1;
- по всему диапазону чувствительность к изменению параметров уменьшилась по сравнению с $r = 1$.

Под помехоустойчивостью показателя текущей опасности процесса C понимается его свойство сохранять свое значение при наличии различных мешающих факторов (помех).

Помехами являются:

- погрешности результатов измерения опасных параметров;
- погрешности расчета.

Поскольку в современных системах управления инструментальные погрешности расчета пренебрежимо малы по сравнению с другими факторами, они в дальнейшем не учитываются.

Поэтому в настоящей работе рассматривается помехоустойчивость ПТО к изменению параметров, вызванному погрешностью их измерения.

Количественной оценкой помехоустойчивости является ошибка оценки показателя ΔC , возникающая из-за помех.

Под потенциальной помехоустойчивостью ПТО процесса понимается его свойство сохранять свое значение в условиях максимальных помех. Потенциальная помехоустойчивость оценивается максимальной ошибкой оценки показателя опасности - ε .

В работе исследованы два варианта оценки помехоустойчивости показателя опасности.

1-й вариант

$$\Delta C = C(v_i) - C_0(v_{i0}) = C(v_{i0} + \Delta v_i) - C(v_{i0}), \quad \varepsilon = \max(\Delta C).$$

В этом случае ошибка оценки показателя ΔC определяется как разница между значением, полученным при подстановке в формулу для вычисления C аргументов с погрешностью, и результатом, вычисленным по аргументам без погрешности.

2-й вариант

Поскольку ΔC является приращением функции $C(v_i)$, обусловленное приращением ее аргументов (Δv_i), то в окрестности некоторой точки C_0 функции $C(v_i)$ ее приращение может быть оценено с помощью дифференциала функции в этой точке. Как показали исследования, функция $C(v_i)$ является достаточно линейной, и поэтому такой вариант оценки приращения ΔC можно считать корректным, учитывая относительно небольшие величины приращений, обычно составляющие несколько процентов.

Поскольку величина ΔC зависит от v_i и от Δv_i , независимо от варианта расчета, необходимо определить максимальное значение ошибки ε , которое и будет определять потенциальную помехоустойчивость ПТО.

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Во всем диапазоне, где $v_1 > v_2$, ΔC примерно равно Δv_1 . Погрешность Δv_2 измерения параметра v_2 практически не оказывает влияния на ΔC .
2. Если v_1 приближается к 1, ΔC стремится к Δv_1 .
3. Заметное увеличение максимальной ошибки $\varepsilon = \max(\Delta C)$ наблюдается при $v_1 = v_2$, когда они стремятся к нулю.
4. Для точного определения $\varepsilon = \max(\Delta C)$ была решена следующая задача:
Найти $\max(\Delta C)$ при ограничениях $0 < v_1 < 1$, $0 < v_2 < 1$, $-b < \Delta v_1 < b$, $-b < \Delta v_2 < b$.

Результаты решения показали, что $\varepsilon = \max(\Delta C) = b \cdot \sqrt{2}$, и что этот максимум существует в очень узком диапазоне изменения v_1 и v_2 в области, близкой к нулевым значениям параметров v_1 и v_2 .

В третьей главе приведено обоснование выбора имитационного моделирования как основного метода исследования для решения прикладной задачи, описанной в четвертой главе. Приведены основные сведения об объекте моделирования и его функционировании. Получены расчетные соотношения для разработки имитационной модели (ИМ) объекта с учетом энергетического и материального балансов. Приведены результаты разработки ИМ объекта и результаты сравнительного анализа ИМ и реального объекта.

Разработка ИМ необходима для решения задачи автономной наладки разработанного ПО и должна позволять имитировать работу реального объекта в области изменения опасных параметров.

Разработка ИМ объекта (в настоящей работе - котла избыточного давления) является нетривиальной задачей. Объект представляет собой сложную систему, содержащую большое количество различного оборудования. Система управления розжигом и система ПАЗ предназначены для управления процессом розжига котла в режиме пуска, для управления остановом котла в аварийной ситуации и для перевода технологического процесса в безопасное состояние в случае аварийных ситуаций. Структура технических средств системы управления приведена на рисунке 7.

Исходя из этих задач, ИМ должна отражать только основные материальные и энергетические потоки, поскольку алгоритмы работы систем ПАЗ не учитывают контуры регулирования.

Для исследования процессов сложных систем методом имитационного моделирования на ЭВМ были решены следующие задачи:

1. Выполнена декомпозиция технологического объекта на отдельные подсистемы.
2. Получена формализованная схема процесса.
3. Выбран инструмент создания имитационных моделей, позволяющий реализовать различные режимы и алгоритмы поведения объекта.
4. Составлены математическая и имитационная модели технологического объекта.
5. Разработаны подсистемы ввода/вывода информации.

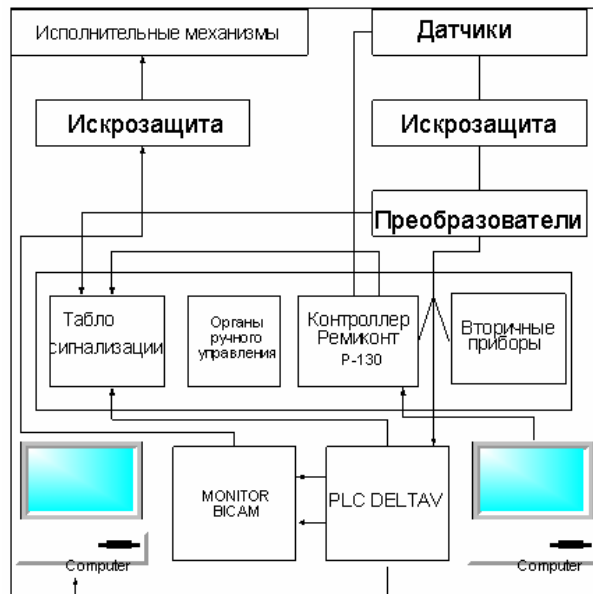


Рисунок 7 - Структура системы управления котлом избыточного давления

Исходные данные для разработки ИМ были получены из технологического регламента, рабочих инструкций, технического задания и проектной документации на систему управления розжигом и ПАЗ.

ИМ парового котла избыточного давления получена с использованием визуальной среды разработки MATLAB Simulink и учитывает уравнения материального и энергетического балансов.

Структурная схема материальных потоков объекта показана на рисунке 8.

Входной информацией для ИМ являются:

- расходы и температуры подачи воды, воздуха, газа;
- процентное соотношение газовой смеси;
- удельные теплоемкости воздуха, воды и газовой смеси.

Выходами модели являются:

- температура, давление и расход водяного пара;
- текущие значения опасных параметров, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень опасных параметров объекта

Наименование параметра	Поз. обозн.	Диапазон измерения	Уставки контроля			
			LL	L	H	HH
Уровень воды в барабане	LT3313A	-250...250	-200			150
Расход воздуха	FT3305A	0..50	12.5		17.5	
Давление воздуха	PT3326	0..750	140			
Давление воздуха на нагнетании дутьевого вентилятора	PT3309	0..1000	140			
Давление топливного газа	PT3311	0..5	0.05			2.45
Уровень воды в барабане	LT3315	-250...250	-200			150
Давление перегретого пара высокого давления	PT3318A	0..150				120
Температура воздуха к горелкам	TT3305A	0..300				240

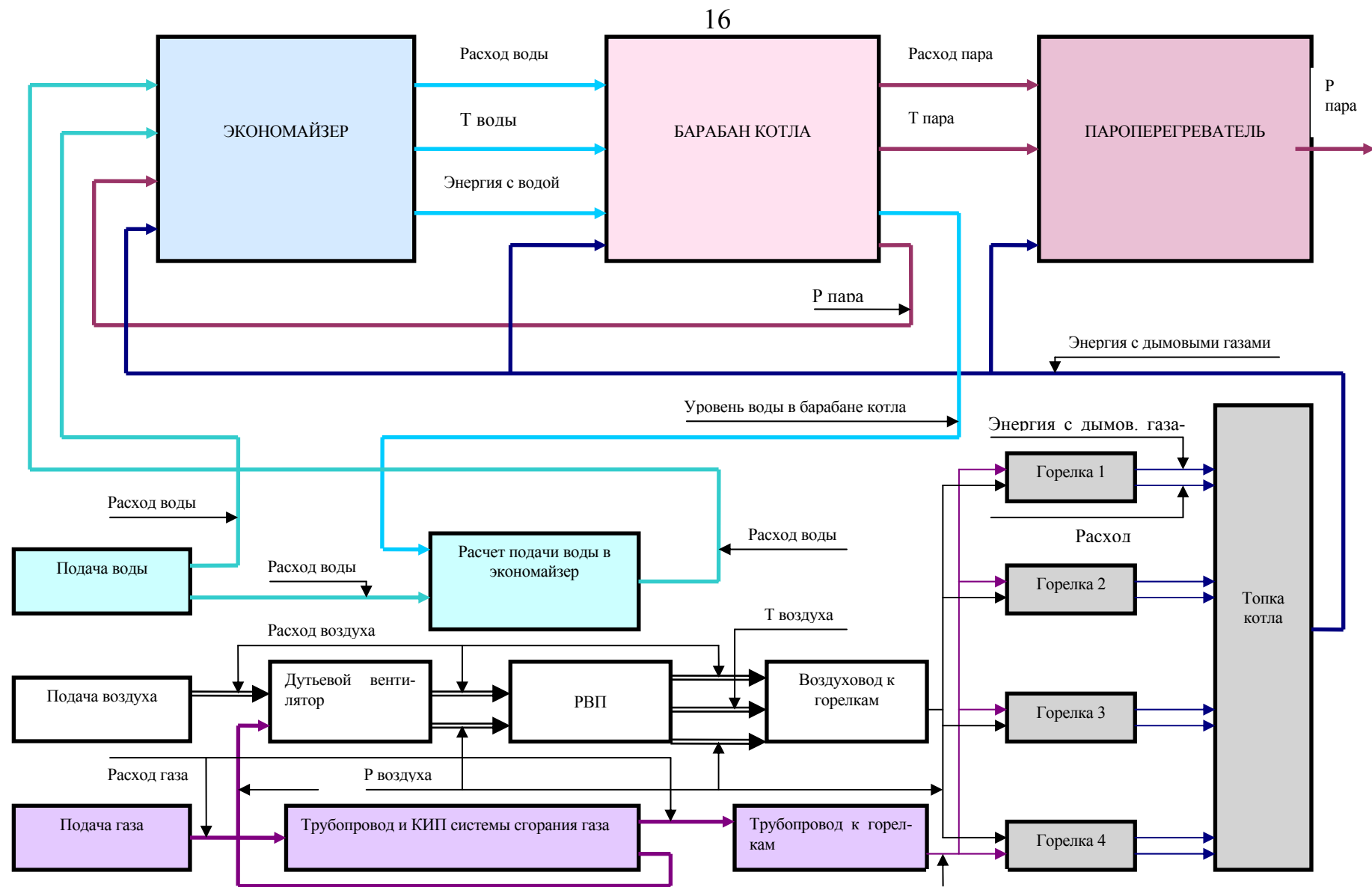


Рисунок 8 - Структурная схема материальных потоков объекта

При сравнительном анализе было показано, что ИМ адекватна реальному объекту на всем рабочем диапазоне. Основная погрешность по основным параметрам составила не более 5 %.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. В качестве инструмента имитационного моделирования целесообразно использовать пакет MATLAB Simulink.
2. При автономной наладке ПО для расчета ПТО с применением ИМ достаточно получить уравнения материального и энергетического балансов объекта, содержащих в качестве переменных значения всех опасных параметров.
3. При разработке ИМ следует разделять технологический объект и его систему управления. Для решения задачи расчета ПТО необходимо получить ИМ объекта, не затрагивая его систему управления.
4. При использовании дополнительного ПО для расчета ПТО, не входящего в состав стандартной SCADA - системы, необходимо рассмотреть возможности сопряжения разрабатываемого ПО и SCADA - системы.

Четвертая глава содержит результаты разработки ПО для расчета ПТО в условиях реально функционирующего технологического объекта и системы управления. Рассмотрены основные способы решения задачи и механизмы обеспечения открытости разрабатываемой системы. Сформулированы основные требования к программной реализации, определены назначение, особенности программного комплекса «ПТО» и технические требования, предъявляемые к ЭВМ применительно к конкретной прикладной задаче. В работе предложена структура ПТК для решения задачи оценки ПТО в реальном времени. Представлены рекомендации по разработке драйверов или других способов сопряжения различных SCADA систем с разработанным ПО. Описан программный комплекс «ПТО».

Разрабатываемая система управления и ПАЗ должна обеспечивать выполнение всех функций как в режиме наладки, так и в режиме нормального функционирования. Поскольку наладку системы для взрывоопасного объекта невозможно выполнять на реальном объекте, а сама система, включая программное обеспечение (ПО), должна полностью соответствовать реальной, поэтому предложено использовать следующую идею ее построения.

Реальная система, предназначенная для работы в режиме эксплуатации, дополняется специальным встраиваемым ПО, обеспечивающим открытость для любой SCADA - системы и любой структуры технических средств системы управления:

- в режимах наладки или обучения персонала замену реального объекта его моделью, расчет ПТО по текущим значениям опасных параметров, полученных от ИМ, связь между разрабатываемым ПО и стандартной SCADA - системой и переключение в режим нормальной эксплуатации;
- в режиме нормальной эксплуатации расчет ПТО по текущим значениям опасных параметров, полученных от реального объекта.

Открытость ПО на всех уровнях работы этой системы может быть обеспечена за счёт использования открытых интерфейсов и доступности внутренних структур. К таким интерфейсам при обмене данными с другими Windows-приложениями относятся механизмы DDE, OLE, OPC, ODBC/SQL.

Система управления может быть построена на базе различных комплексов технических средств (КТС), необходимо только наличие для них коммуникационно-

го драйвера. Наличие таких драйверов в настоящее время является стандартом де-факто для производителей, специализирующихся на оборудовании для нужд АСУ ТП и систем ПАЗ.

Задача расчета ПТО реализуется в рабочей станции оператора, используя возможности SCADA-систем или/и дополнительного ПО. В работе рассматриваются пример совместного использования методики ИМ и стандартных протоколов обмена данными на базе открытого стандарта OPC.

В работе приведено описание специально разработанного программного комплекса «ПТО», позволяющего получать с помощью стандарта OPC текущие данные для расчета ПТО непосредственно из контроллеров или от SCADA-системы, рассчитывать в реальном времени значения ПТО и предоставлять оператору результаты расчета.

На рисунке 9 показана структура разработанной системы для реализации указанной задачи.

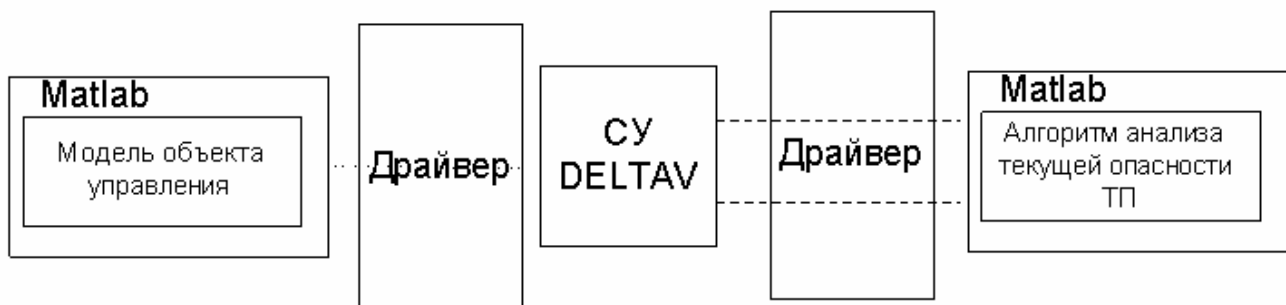


Рисунок 9 – Структура системы для расчета ПТО

Возможность использования программного комплекса «ПТО» для работы с другими объектами показана на рисунке 10.

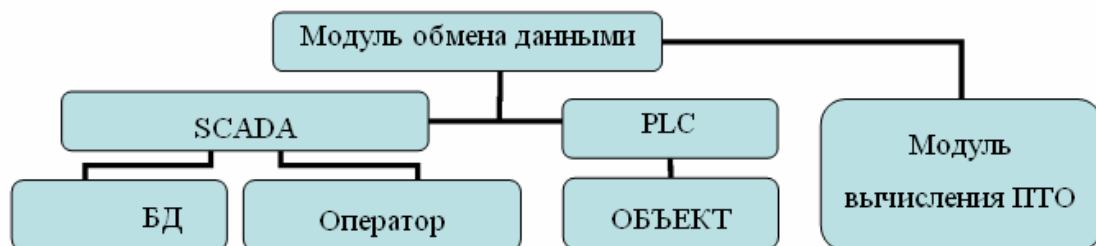


Рисунок 10 - Структура ПТК для решения задачи определения ПТО

Все предложенные и разработанные решения были реализованы в пилотном проекте системы ПАЗ для реального технологического процесса выработки пара избыточного давления производства ООО «Метанол» г. Томск.

Проект реализован на базе программно-технического комплекса (ПТК) DeltaV компании «Emerson Process Management», рисунки 7, 11.

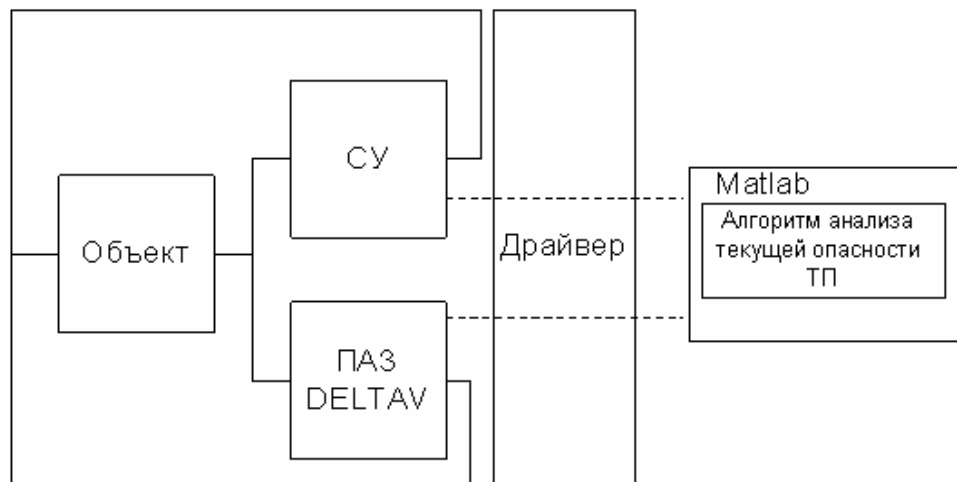


Рисунок 11 - Структура ПТК системы управления и ПАЗ

Для обмена данными в режиме реального времени был разработан OPC-сервер.

Обобщая результаты разработки пилотного проекта для реализации задачи расчета ПТО, предложена следующая последовательность работ с использованием полученных автором результатов:

- выбрать специализированную программную среду для разработки имитационной модели объекта (рекомендуется использовать пакет MATLAB Simulink);
- разработать имитационную модель объекта;
- если применяется операционная система семейства Windows 95/98/NT/XP, необходимо использовать разработанный автором специализированный программный комплекс «ПТО».

На стадиях автономной и комплексной наладки ПО:

- интегрировать программный комплекс «ПТО» в базовое ПО АСУ ТП;
- интегрировать специализированную программную среду для разработки имитационной модели объекта и разработанную модель объекта в базовое ПО АСУ ТП;
- провести автономную и комплексную наладку прикладного ПО для расчета ПТО.

На стадии промышленной эксплуатации заменить ИМ реальным объектом указанием в программном комплексе «ПТО» OPC-тегов реальных параметров.

Исследование разработанной системы управления и ПАЗ показали возможность использования разработанного программного комплекса практически для любых объектов и любых программно-технических реализаций систем управления и ПАЗ без каких-либо дополнительных технических средств.

В Заключение приведены выводы по полученным результатам.

В Приложении приведены акты внедрения результатов диссертационной работы и некоторые функциональные элементы ИМ, используемой в разработанном программном комплексе «ПТО».

Основные выводы и результаты работы

Диссертационная работа посвящена актуальной в настоящее время теме повышения промышленной безопасности.

Автором была впервые сформулирована новая задача систем управления и ПАЗ - задача оперативного измерения текущей опасности процесса. Для этого предложена количественная мера текущей опасности в виде специального показателя ПТО, исследованы его свойства и разработаны технические решения по реализации этой задачи в АСУ ТП и системах ПАЗ.

Решенные задачи и полученные результаты состоят в следующем:

- обоснована необходимость решения в системах безопасности задачи оценки текущей опасности ТП;
- предложен способ количественной оценки степени текущей опасности технологического процесса в виде специального показателя ПТО;
- перечислены основные этапы разработки программного обеспечения для решения поставленной задачи в условиях промышленной эксплуатации;
- предложен способ решения поставленной задачи с использованием инструментов имитационного моделирования и открытых интерфейсов обмена данными;

Введенный показатель текущей опасности соответствует требованиям ОПВБ и другим нормативным документам, способствует повышению безопасности эксплуатации промышленных производств.

Поскольку предложенный показатель является результатом измерения, его использование позволяет не только измерять и контролировать опасность, но также проводить своевременную диагностику и контроль состояния оборудования, а также решать задачу прогнозирования опасности.

Введение предложенного показателя является первым этапом комплексного решения задачи оценки, т.к. учитываются только непрерывные значения параметров.

В настоящей работе рассмотрены вопросы внедрения в системах АСУ ТП и ПАЗ только задачи измерения ПТО. Исследования и разработка других перечисленных задач систем ПАЗ, связанных с текущей опасностью, является предметом и содержанием исследований на последующих этапах.

Прикладные результаты работы позволяют сократить время внедрения задачи оценки ПТО.

Основные публикации по теме диссертации

1. Пономарев А.А., Кочегурова Е.А., Бурмантов Д.Г. Концепция построения имитационной модели для тестирования ПО «DeltaV» // Наука и инновации XXI века: Материалы открытой окружной конференции молодых ученых. - Сургут, 2004, - С. 52-54.
2. Пономарев А.А. Разработка компьютерного тренажера для системы управления блокировок и ПАЗ вспомогательного котла на базе имитационной модели и системы управления DELTAV // Современные средства и системы автоматизации: Материалы 4 научно-практической конференции.- Томск: изд ТУСУР, 2004. - С. 113-116.
3. Пономарев А.А. Разработка имитационной модели для задач построения компьютерного тренажера для системы управления и ПАЗ // Информационные технологии в XXI веке: Сборник докладов и тезисов II молодежного научно-практического форума. Днепропетровск УГХТУ 2004. - С. 142-144
4. Пономарев А.А. Использование имитационного моделирования в задачах исследования сложных систем // Научное творчество молодежи: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. Изд. Томского университета

2004. -С. 55-57.
5. Пономарев А.А., Агеев Ю.М. Прогнозирование аварийных ситуаций на объекте управления с использованием пакета MATLAB // Электронные средства и системы управления: Материалы международной научно-практической конференции. Изд. Института оптики атмосферы СО РАН 2004. -С. 85-90.
 6. Пономарев А.А., Зыков Д. Построение имитационной модели котла для тестирования алгоритмов пуска/останова объекта // Молодежь и современные информационные технологии: Материалы II всероссийской научно-практической конференции студентов. Изд. ТПУ. 2004. - С. 252-254.
 7. Пономарев А.А. Показатель текущей опасности технологического процесса // Средства и системы автоматизации: Материалы 5-ой научно-практической конференции. Изд. ТУСУР. 2004. – С. 106-108.
 8. Пономарев А.А., Агеев Ю.М. Использование MATLAB для решения задач оценки и анализа текущей опасности технологических объектов // Аппаратно-программные средства автоматизации технологических процессов. Изд. Томского университета 2004.
 9. Пономарев А.А., Кочегурова Е.А., Бурмантов Д.Г. Курганов В.В. Система ПАЗ вспомогательного котла на производстве метанола
// Современные средства и системы автоматизации: Материалы 6 научно-практической конференции .- Томск: изд ТУСУР, 2005.
 10. Пономарев А.А. Обобщенный показатель технологической опасности // Современные средства и системы автоматизации: Материалы 6 научно-практической конференции .- Томск: изд ТУСУР, 2005.
 11. НИР «Системы автоматической противоаварийной защиты (ПАЗ) технологических процессов взрывоопасных производств ООО «Томскнефтехим», гос. № 01200603740. Отчет 1. Системы ПАЗ. Обзор и анализ требований нормативной документации. Современное состояние и тенденции развития. 131 с.
 12. НИР «Системы автоматической противоаварийной защиты (ПАЗ) технологических процессов взрывоопасных производств ООО «Томскнефтехим», гос. № 01200603740. Отчет 2. Рекомендации по замене, модернизации и развитию систем ПАЗ на ООО «Томскнефтехим». 112 с.
 13. НИР «Системы автоматической противоаварийной защиты (ПАЗ) технологических процессов взрывоопасных производств ООО «Томскнефтехим», гос. № 01200603740. Отчет 3. Оценка и контроль текущей опасности технологического процесса. 52 с.

Подписано к печати: 28.04.2006 г.

Тираж 100 экз. Заказ №

Бумага офсетная. Формат 60х84/16.

Печать RISO. Отпечатанов типографии

ООО «РауШ мбХ»

Лицензия Серия ПД № 12-0092 от 03.05.2001 г.

634034, Томск, ул. Усова 7, ком 052.

Тел. (3822) 56-44-54