

## Подход к решению задачи идентификации экологической ситуации на основе экологических и метеорологических параметров

Г.С. Вересников (ИПУ РАН)

*Предложен подход к решению задачи идентификации экологической ситуации на основе экологических и метеорологических параметров, полученных в точках контроля. Разработана методика формирования репрезентативной выборки, необходимой для применения этого подхода.*

*Ключевые слова: анализ экологической информации, идентификация экологической ситуации, экологический мониторинг.*

### Введение

Современные системы экологического мониторинга включают подсистемы первичных измерений, сбора, передачи, накопления и обработки полученных данных, анализа экологической и метеорологической информации, поддержки принятия решений по управлению экологической обстановкой.

В системах экологического мониторинга известны два подхода к организации мониторинга по основным загрязнителям [1]:

- на основе контроля предельно допустимых выбросов (ПДВ) с последующим моделированием распространения загрязнений и учетом метеоусловий;
- на основе контроля предельно допустимых концентраций (ПДК) в атмосферном воздухе.

Подход с использованием контроля выбросов предполагает наличие информации об источнике, объеме, времени выбросов, ингредиентах концентраций, метеоусловиях, что не всегда является возможным. С другой стороны, когда необходимые данные известны, имеется упреждающая информация для принятия решений и управления. Для осуществления прогнозов возможных изменений окружающей природной среды используются модели, полученные на основе решения уравнений турбулентной диффузии [2]. Существующие модели для расчета концентраций классифицируются по типам источника выброса. Тип источника может быть точечным, линейным или площадным. Выбросы от точечного источника подразделяются на мгновенные (модель "клубка") и непрерывные (модель "факела"). Эти модели положены в основу "Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" (ОНД-86) [3], широко используемой для инженерных расчетов и реализованной в ряде программных комплексов расчета загрязнения атмосферного воздуха. К наиболее распространенным методам расчета загрязнения атмосферы относится гауссовская модель расчета шлейфа вредных веществ от стационарных источников. Подобная методика распространена за рубежом и рекомендована Агентством по охране окружающей среды США для проведения расчетов, носящих нормативный характер [2].

Наиболее распространенными являются системы экологического мониторинга, основанные на контроле ПДК. Это связано с тем, что такая организация систем экологического мониторинга является наиболее выгодной с экономической точки зрения. При

этом подходе в процессе экологического мониторинга в БД поступают значения экологических и метеорологических параметров, измеренные в точках контроля. Полученная информация изначально не содержит сведений об источнике выброса вредных веществ, характеристиках выброса, уровне опасности, имевшего место распространения вредных веществ в атмосфере и т.д. Для получения этих сведений требуется проводить анализ экологической информации.

Таким образом, система мониторинга загрязнений на основе контроля ПДК в зоне влияния выброса требует решения задачи идентификации и прогнозирования экологической ситуации с помощью анализа экологических и метеорологических параметров, полученных в точках контроля. Эта обратная задача сложнее прямой, и полученная информация будет запаздывающей. Во многих системах экологического мониторинга анализ экологической информации ограничивается сравнением измерений экологических параметров с предельно-допустимыми нормами. Такой подход не является оптимальным, так как дает минимальное количество информации для принятия решений. В результате анализа концентраций вредных веществ и метеорологических параметров может быть сформирована информация о месте и причине выбросов (определение виновника загрязнения, причины выброса, уровня опасности для здоровья людей и т.д.).

Далее предлагается один из подходов к решению задачи идентификации экологической ситуации на основе экологических и метеорологических параметров, полученных в точках контроля.

### Постановка задачи идентификации экологической ситуации

Под экологической ситуацией будем понимать пространственно-временное сочетание различных, в том числе позитивных и негативных с точки зрения проживания и состояния человека условий и факторов, создающих определенную экологическую обстановку на территории разной степени благополучия или неблагополучия. Будем считать, что идентифицировать экологическую ситуацию в процессе экологического мониторинга означает определить факторы, создающие негативную экологическую ситуацию, а также оценить степень благополучия или неблагополучия экологической обстановки на контролируемой территории.

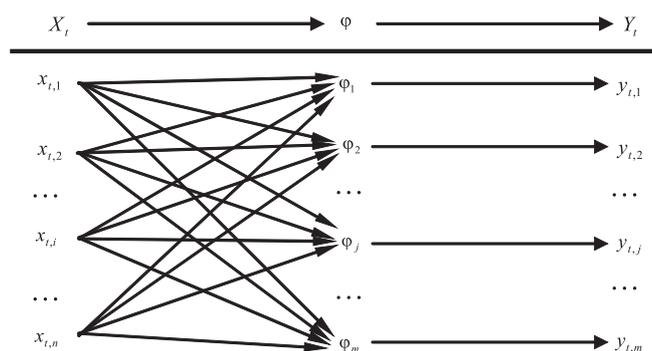


Рис. 1. Реализация отображения  $\varphi$  с помощью отображений  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$

Под нештатной ситуацией на контролируемых объектах будем понимать события, процессы и явления, приводящие к выбросам вредных веществ на контролируемых объектах. Нештатные ситуации приводят к распространению вредных веществ в природной среде, и поэтому параметры нештатных ситуаций входят в набор факторов, определяющих экологическую ситуацию.

Сформулируем задачу идентификации экологической ситуации. В каждый момент времени  $t$  для каждой точки контроля существует вектор экологических и метеорологических параметров  $X_t = (x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,n})$ . Вектор  $X_t$  формируется из значений, поступающих от измерительных приборов, установленных в точках контроля.

Обозначим через  $Y_t = (y_{t,1}, y_{t,2}, \dots, y_{t,m})$  вектор, с помощью которого дается оценка экологической ситуации в момент времени  $t$ . Элементы вектора  $Y_t$  являются качественной оценкой экологической ситуации по заранее определенной шкале. В шкале кодируются: тип нештатной или аварийной ситуации; место возникновения нештатной или аварийной ситуации; уровень опасности; тип опасности и т.д.

Задача идентификации экологической ситуации заключается в том, чтобы на основе анализа информации, полученной в процессе экологического мониторинга, определить вектор  $Y_t$ , характеризующий сложившуюся экологическую ситуацию.

Предлагается следующий подход к идентификации экологической ситуации. В каждой точке контроля на основе текущего вектора экологических и метеорологических параметров  $X_t$ , определяется вектор  $Y_t$ , характеризующий сложившуюся экологическую ситуацию. Затем проводится анализ результатов идентификации, полученных во всех точках контроля, и делается вывод о текущей экологической ситуации (делается окончательный вывод о векторе  $Y_t$ ).

Согласно этому подходу для каждой точки контроля строится функция идентификации экологической ситуации, которая является отображением  $\varphi: X \rightarrow Y$ , множества входных параметров  $X \in R^n$  в множество выходных переменных  $Y \in R^m$ .

Закономерности, которые используются, чтобы на основе текущих измерений экологических и метеорологических параметров идентифицировать экологическую ситуацию, являются трудно формализуе-

мыми. Для поиска и построения этих закономерностей предлагается использовать методы, являющиеся частью технологий Data Mining [4]. Они позволяют сформировать логические правила, основываясь на эмпирической выборке вида (экологические параметры, оценка экологической ситуации).

Таким образом, для построения отображения  $\varphi$  предлагается использовать алгоритмы, для работы которых требуется набор эмпирических данных, в достаточной мере отражающий зависимости между входными/выходными переменными. Такими алгоритмами, например, являются нейронные сети,  $k$  – ближайших соседей, деревья решений, метод группового учета аргументов (МГУА).

Для использования перечисленных алгоритмов необходимо сформировать выборку, состоящую из пар вида  $\langle X; Y \rangle$ . Компоненты вектора  $X$  используются в качестве входа создаваемых формальных конструкций, а компоненты вектора  $Y$  – в качестве выхода.

Однако неэффективно строить отображение  $\varphi$  в виде одной функции. Это связано с тем, что число экологических ситуаций может быть максимальным, а вышеперечисленные алгоритмы дают наилучший результат, когда число выходных состояний минимально.

Поэтому предлагается подход, который заключается в построении для каждой компоненты вектора  $Y$  отдельного отображения из множества входных параметров  $X$ . То есть отображение реализуется при помощи набора отображений  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$  (рис. 1).

Проблемой при построении отображения  $\varphi$  в рамках выбранного подхода, является необходимость получения репрезентативной обучающей выборки пар  $\langle X; Y \rangle$ , охватывающей различные экологические ситуации.

### Принципы построения обучающей выборки.

#### Проблема репрезентативности

Построение отображения предполагает, что для каждой экологической ситуации, задаваемой вектором  $Y$ , существует набор векторов  $X$ , который будет ей сопоставлен.

Основная проблема заключается в том, что необходимо составить репрезентативную выборку, которая будет охватывать все предусмотренные экологические ситуации. В БД, предназначенной для хранения экологической информации, накапливаются большие объемы данных в виде пар  $\langle X_t; Y_t \rangle$ . Например, в БД системы экологического мониторинга объекта хранения и уничтожения химического оружия по каждой точке контроля вносится более 20 тыс. записей в год. Однако имеющиеся пары  $\langle X_t; Y_t \rangle$  в основном характеризуют штатный режим работы объекта. Большинство нештатных ситуаций либо вообще не возникает в силу их малой вероятности, либо очень редки, поэтому накопленных данных недостаточно для построения репрезентативной выборки.

Таким образом, системы экологического мониторинга характеризуются недостаточным количеством накопленной информации о нештатных и аварийных

ситуациях, что объясняется их малой вероятностью. В связи с этим необходимы методы получения дополнительной информации о тех ситуациях, которые могут возникнуть в процессе экологического мониторинга. Использование методики получения отсутствующей информации о возможных экологических ситуациях с помощью опыта и интуиции высоко квалифицированных специалистов-экспертов в данном случае не дает нужного результата. Задача сопоставления наборов экологических и метеорологических параметров конкретным экологическим ситуациям для каждой точки контроля будет не только трудоемкой, но может оказаться невыполнимой в силу невозможности учета экспертами большого числа факторов.

В качестве альтернативного способа получения недостающей информации для формирования обучающей выборки предлагается моделирование предусмотренных нештатных ситуаций на объекте, где проводится экологический мониторинг.

В зависимости от типа источника выброса используются различные математические модели расчета распространения вредных веществ в атмосфере. Официально утвержденной методикой, позволяющей производить расчет распределения концентраций в приземном слое атмосферы в зависимости от условий окружающей среды, является методика [3]. Будем использовать данную методику для иллюстрации предлагаемого подхода формирования обучающей выборки. Данная методика предназначена для расчета приземных концентраций в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикального распределения концентраций от точечных, линейно и пространственно распределенных источников.

Предлагается использовать модели расчета распространения вредных веществ и информацию об источнике загрязнения, чтобы сформировать обучающую выборку (для каждой точки контроля), необходимую при построении функции идентификации экологической ситуации.

Для построения карты распространения вредных веществ требуются параметры, которые условно можно разделить на три группы:

- уровни выброса вредных веществ;
- параметры, определяемые технологическими особенностями источника выброса;
- метеорологические параметры.

Состав параметров зависит от конкретной методики расчета распространения вредных веществ.

Обозначим через  $S = (s_1, s_2, \dots, s_g)$  – вектор, элементами которого являются уровни выброса вредных веществ, через  $U = (u_1, u_2, \dots, u_r)$  – вектор, содержащий значения, которые влияют на распространение вредных веществ и определяются расположением и технологическими особенностями источника. Рассмотрим состав вектора  $U$  в случае использования методики [3].

В состав вектора  $U$  входят:  $X_0, Y_0(m)$  – координаты источника выброса;  $H(m)$  – высота источника выбро-

са над уровнем земли (для наземных источников при расчетах принимается  $H = 2m$ );  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (зависит от коэффициента очистки выбросов);  $T_2(C^0)$  – температура выбрасываемой газовой смеси;  $D(m)$  – диаметр устья источника выброса;  $\omega_0(m/c)$  – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса.

Конкретный вариант нештатной ситуации на контролируемом объекте задается комбинацией параметров:  $\langle S; U \rangle$ .

На распространение вредных веществ в атмосфере также влияют условия окружающей среды. Обозначим через  $E$  вектор, содержащий параметры окружающей среды, которые необходимы для расчета концентраций вредных веществ в точке контроля с координатами  $(x_k, y_k)$ . Часть из них является метеопараметрами и входит в состав параметров, измеряемых в процессе экологического мониторинга. Обозначим ее через  $E_{изм}$ . Другая часть параметров является постоянной и характеризует местность, на которой происходит распространение вредных веществ. Обозначим ее через  $E_{пост}$ .

В случае использования методики [3] в состав вектора  $E_{изм}$  входят:  $T_0(C^0)$  – температура окружающего атмосферного воздуха;  $v(m/c)$  – скорость ветра;  $x(m)$  – расстояние от точки выброса до точки контроля по оси факела;  $y(m)$  – расстояние от точки выброса до точки контроля по перпендикуляру от оси факела.

Значения  $x$  и  $y$  определяются измеряемым в процессе экологического мониторинга параметром "направление ветра". При расчете концентраций вредных веществ вместо  $x$  используется значение  $R \sin(\alpha)$ , а вместо  $y$  значение  $R \cos(\alpha)$ , где  $R$  – расстояние от точки выброса до точки контроля,  $\alpha$  – угол между вектором направления ветра и вектором, соединяющим точку выброса и точку контроля (рис. 2).  $R$  и  $\alpha$  – вычисляются на основе известных значений  $(x_k, y_k)$ ,  $(x_0, y_0)$  и направления ветра.

В случае использования [3] в состав вектора  $E_{пост}$  входят:  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающем 50 м на 1 км.  $\eta = 1$ ).

Таким образом, для моделирования экологической ситуации необходимо наличие конкретного варианта нештатной ситуации, определяемого векторами  $S$  и  $U$ , и условий распространения вредных веществ, определяемых векторами  $E_{изм}$  и  $E_{пост}$ .

#### Алгоритм построения обучающей выборки

Опишем процесс построения обучающей выборки, охватывающей нештатные ситуации конкретного контролируемого объекта для точки контроля с координатами  $(x_k, y_k)$ . Он состоит из четырех этапов.

1. *Формирование перечня нештатных ситуаций с указанием диапазонов выбрасываемых вредных веществ.*

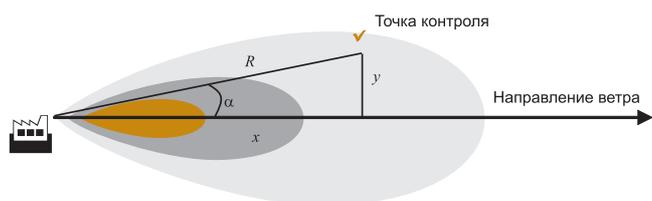


Рис. 2. Факел распространения вредных веществ

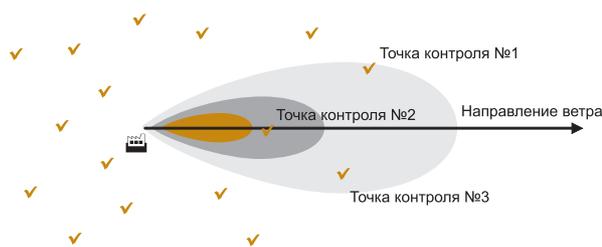


Рис. 3. Факел распространения вредных веществ

Нештатная ситуация описывается: расположением источника выброса; условиями выброса, задаваемыми технологическими особенностями источника; набором вредных веществ, которые будут выброшены в атмосферу; диапазонами, в которых возможно изменение уровня выброса каждого вредного вещества.

Когда объект мониторинга представляет серьезную экологическую опасность, создается документ, содержащий описание потенциальных нештатных и аварийных ситуаций. В документе для каждой такой ситуации указывается перечень выбрасываемых вредных веществ, а для каждого вещества — минимальный и максимальный уровень выбросов в атмосферу, который возможен в случае ее возникновения. Данный перечень основан на экспертных знаниях о ТП, происходящих на объекте.

2. *Формирование возможных вариантов экологических ситуаций на основе варьирования уровней выброса и параметров окружающей среды в заданных диапазонах.*

Изменяя элементы  $(s_1, s_2, \dots, s_g)$  в заданных диапазонах и параметры вектора  $E_{изм}$  в допустимых пределах, получаем различные варианты нештатной ситуации  $\langle S; U \rangle$ , возникающие при различных условиях  $E$ , то есть формируем варианты экологических ситуаций, используя условие  $E: \langle S; U; E \rangle$ .

3. *Расчет концентраций в точках контроля для каждого варианта экологической ситуации.*

Для каждого сформированного варианта экологической ситуации  $\langle S; U; E \rangle$ , используя значения элементов векторов  $S, U, E$ , рассчитываются концентрации в точке контроля по всем вредным веществам. Затем строится карта распространения вредных веществ, и определяются неизвестные компоненты вектора  $Y$  (уровень опасности, тип опасности и т.д.).

4. *Формирование пар вида:  $\langle X, Y \rangle$ .*

На предыдущем этапе были получены все данные, необходимые для формирования обучающей выборки, состоящей из пар  $\langle X, Y \rangle$ . Вектор  $X$ , формируется из рассчитанных концентраций вредных веществ и изменяемой части вектора  $E$ . Вектор  $Y$  образуется из изве-

стных компонентов, являющихся исходной информацией для моделирования распространения вредных веществ и компонент вектора  $Y$ , определенных на третьем этапе формирования обучающей выборки.

В результате векторам экологических и метеорологических параметров  $X$  сопоставляется вектор  $Y$ , то есть образуется репрезентативная выборка, состоящая из пар вида  $\langle X, Y \rangle$ .

Полученная обучающая выборка используется для построения отображений  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$  путем обучения нейронных сетей, построения деревьев решений и уравнений МГУА.

### Идентификация экологической ситуации

Функции  $\varphi$  строятся для всех точек контроля и в дальнейшем используются, чтобы в каждой из них получить вектор  $Y_i$ , характеризующий сложившуюся экологическую ситуацию. Окончательный выбор вектора  $Y_i$  осуществляется на основе анализа результатов идентификации, полученных во всех точках контроля. Способ проведения анализа зависит от типа источника выбросов. Рассмотрим пример для точечного непрерывного источника выброса, когда распространение вредных веществ имеет форму факела (рис. 3).

Во всех точках контроля, изображенных на рис. 3, определяется вектор  $Y_i$ . Пусть точки контроля № 1, № 2, № 3 дали результат идентификации, отличающийся от других точек, и стали известны компоненты вектора  $Y_i$  — тип и место возникновения нештатной или аварийной ситуации. На основе этой информации строятся границы факела распространения вредных веществ. Так как внутрь границ факела попадают точки контроля № 1, № 2, № 3, то функции  $\varphi$  для этих точек дают одинаковый результат идентификации экологической ситуации (одинаковый вектор  $Y_i$ ). Поэтому делается вывод о том, что вектор  $Y_i$ , полученный в точках контроля № 1, № 2, № 3, является результатом идентификации сложившейся экологической ситуации. На основе текущего вектора  $Y_i = (y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,m})$  принимается решение о принятии мер по разрешению идентифицированной экологической ситуации.

### Заключение

В процессе экологического мониторинга потенциально опасных объектов важной задачей является своевременная идентификация сложившейся экологической ситуации и применение адекватных мер по ее разрешению. В работе предложен подход к решению задачи идентификации экологической ситуации. Преимуществом данного подхода является возможность формировать логические правила, позволяющие идентифицировать экологическую ситуацию, которая ранее не возникала в процессе экологического мониторинга.

Предложенный подход был использован при построении модуля идентификации экологической ситуации, включенного в систему анализа экологической информации объектов хранения и уничтожения химического оружия. Результаты работы были реали-

зованы в виде ПО, в котором в качестве методики расчета концентраций вредных веществ была использована методика [3]. Однако данный подход может быть применен при использовании и других методик моделирования распространения вредных веществ.

Эффективность предложенного подхода снижается из-за неполноты исходной информации, используемой для моделирования. Список нештатных и аварийных ситуаций не может предусмотреть все возможные варианты ситуаций. Исследование особенностей функционирования объекта управления и анализ возникающих ситуаций позволит получить дополнительную информацию, необходимую для построения модуля идентификации экологической ситуации.

Построение модуля идентификации экологической ситуации на основе предложенного подхода поз-

воляет повысить адекватность принятия оперативных решений по управлению сложившейся экологической ситуацией и способствует безопасному функционированию потенциально опасных технологических объектов.

#### Список литературы

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды // М., Гидрометеиздат. 1984.
2. Афанасьев Ю.А., Галкин С.Ф., Кузнецова Н.А., Машкович К.И., Меньшиков В.В., Фомин С.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды // М.: МНЭПУ. 2001.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86 // Л.: Госкомгидромед. 1987.
4. Дюк В., Самойленко А. Data mining: учебный курс // СПб.: Питер. 2001.

*Вересников Георгий Сергеевич – старший научный сотрудник  
Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.*

*Контактный телефон (495) 334-93-49. E-mail: veresnikov@mail.ru*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**О.В. Щепелина (Максимова) (ООО "Пермаавтоматика")**

*Представлена структура и основные функциональные особенности автоматизированной системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ) и системы диспетчеризации (АСДУ) канализационных очистных сооружений (КОС) УМП "Водопроводно-канализационного хозяйства" г. Чернушка (Пермский край).*

*Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, сточные воды, энергосберегающие технологии.*

В настоящее время в нашей стране наметилась положительная тенденция, заключающаяся во внедрении систем автоматизации не только крупными, "богатыми" предприятиями, но и муниципальными, государственными компаниями. Так в 2007 г. ООО "Пермаавтоматика", авторизованный системный интегратор AdAstra Research Group Ltd. (Москва) в Уральском регионе, запустила АСТУЭ и АСДУ КОС УМП "Водопроводно-канализационного хозяйства" г. Чернушка (Пермский край). Канализационные очистные сооружения осуществляют биологическую очистку сточных вод города. Служба главного энергетика предприятия приняла решение о необходимости внедрения на предприятии энергосберегающих технологий, а так как для более полного их использования необходим эффективный учет энергоресурсов, работы были начаты с введения в эксплуатацию АСТУЭ.

АСТУЭ и АСДУ осуществляют:

- сбор данных о токах потребления основного оборудования;
- контроль состояния и управление отключением/блокировкой пуска основного оборудования КОС;
- технический учет электроэнергии;
- учет количества сточных вод.

На основе полученных данных делаются выводы об эффективности ТП предприятия. В систему заложены механизмы, позволяющие осуществлять почасовое планирование использования электроэнергии.

На стадии проекта в основу разрабатываемых систем были положены следующие требования заказчика:

- унификация оборудования и программных средств (на предприятии с 2005 г. уже эксплуатируется система автоматизации хлораторной на основе контроллеров ICP DAS и SCADA/HMI и SOFTLOG-IC системы Trace Mode 5);
- использование (где возможно) существующих линий связи и датчиков (на очистных сооружениях был уже организован учет сточных вод на основе ультразвукового расходомера фирмы "Взлет");
- низкая стоимость внедрения системы;
- возможность оперативного доступа к данным не только диспетчера, но и начальника КОС;
- возможность интеграции в АСТУЭ системы сбора данных со всех объектов предприятия (в данный момент существует перспективный план внедрения этой системы).

Всем перечисленным требованиям полностью соответствовало оборудование фирмы ICP DAS и SCADA/HMI и SOFT-LOGIC система Trace Mode 6. Оборудование ICP DAS перекрывает весь спектр необходимых технических средств. Trace Mode 6 позволяет не только собирать данные и визуализировать их, но и программировать контроллеры в единой среде разработки.

В результате в основу АСТУЭ и АСДУ была положена трехуровневая модель.