

Д.т.н. В.В. Соловей, к.т.н. Ю.В. Уваров

ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ПОДСИСТЕМЕ НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Сформированы основные требования к подсистеме наблюдения и контроля единой государственной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций. Даны рекомендации по организации ее работы в условиях возникновения чрезвычайной ситуации.

Постановка проблемы. Физическая величина, характеризующая состояние окружающей среды (ОС), является измеряемой величиной. Совокупность операций, направленных на установление измеряемой величины, составляет процесс измерения, а технические средства при этом используемые являются средствами измерений (СИ). Процесс измерения можно рассматривать как процесс преобразования сигналов измерительной информации. Сигнал измерительной информации – это сигнал функционально связанный с измеряемой величиной. Параметры сигнала связанные с измеряемой величиной называются информативными, несвязанные - неинформативными.

Так, если применяется частотное преобразование, то информативным параметром является частота импульсов, а амплитуда, длительность или полярность - неинформативными параметрами. Однако это не значит, что неинформативные параметры могут быть любыми. Для нормального функционирования СИ неинформативные параметры должны соответствовать определенным требованиям.

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время наибольшее распространение получили электрические СИ, в которых результат измерения получается путем ряда преобразований электрических сигналов [1-4]. Измеряемый параметр предварительно следует преобразовать в электрическую величину, а затем путем ряда последовательных преобразований электрических сигналов получается результат измерения.

Постановка задачи и ее решение. С общих позиций любое средство измерений можно представить в виде измерительной цепи, представляющей собой совокупность преобразовательных элементов, обеспечивающих осуществление всех преобразований сигнала, измерительной информации начиная с входной (измеряемой) величины, до выходной - результата измерения. Такой подход позволяет выделить ряд общих для различных СИ измерительных преобразований, определить их свойства, определенным образом задать их характеристики,

а затем определить погрешность результата измерений, свойства и характеристики СИ в целом.

Температура является термодинамическим параметром, пропорциональным кинетической энергии хаотического движения частиц, образующих физическое тело, находящееся в том или ином агрегатном состоянии.

Измерение температуры основывается на использовании функциональной зависимости от температуры различных свойств тел: теплового расширения, электрического сопротивления проводников и полупроводников, электродвижущей силы термоэлектрической пары, излучения нагретых тел.

Единицей измерения температуры в системе "СИ" является Кельвин или градус Кельвина - °К, определяемый как $1/273,16$ термодинамической температуры тройной точки воды (т.е. точки сосуществования льда, воды и пара при давлении $4,58$ мм. рт. столба), что соответствует $0,01^{\circ}\text{C}$. По стандартам России приняты две температурные шкалы: термодинамическая-Кельвина и практическая-Цельсия, при этом между ними устанавливается связь: $T^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273,15$, где $-273,15$ точка абсолютного нуля в градусах Цельсия.

За рубежом используются также температурные шкалы Фаренгейта и Реомюра. Между шкалами Цельсия С, Фаренгейта F и Реомюра R установлена связь

$$T^{\circ}\text{C} = 5/4 T^{\circ}\text{R} = 5/9(T^{\circ}\text{F} - 32).$$

При контроле состояния ОС в основном применяются контактные методы, основанные на помещении датчиков в среду, температура которой измеряется. При измерении температуры контактными методами наиболее часто применяются терморезисторы (ТР), основанные на зависимости электрического сопротивления проводников или полупроводников от температуры.

Основной частью ТР являются чувствительные элементы из меди или платины с номинальным значением сопротивления при 0°C : 10 ; 50 ; 100 ; 500 Ом. В общем случае зависимость сопротивления R_0 от температуры для металлов имеет вид

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3),$$

где R_0 – сопротивление при 0°C .

Для платиновых ТР номинальная статическая характеристика рассчитывается по формуле:

$$R_T = R_0 W_T,$$

где R_T и R_0 - сопротивление при температуре T и 0°C соответственно, Ом; W_T – отношение сопротивлений при двух температурах: R_T (при $T^\circ\text{C}$) и R_0 (при 0°C), которое задает вид статической характеристики ТР и приводится в таблицах по ГОСТ 6651-84.

Зависимость R_T для ТР от температуры нелинейна, однако для сравнительно узкого диапазона температур, характерного для климатических условий России -40°C - $+40^\circ\text{C}$ при нормальном состоянии ОС, с погрешностью не более 0,4% ее можно считать линейной.

Инструментальные погрешности ТР обусловлены отличием реальной характеристики от номинальной и регламентируются классами допуска А, В, С. Класс допуска является обобщенной характеристикой ТР, определяющей допускаемые отклонения сопротивления от номинальных значений: R_0 , W_{100} (отношение сопротивлений при 100°C и 0°C), а также допускаемые пределы погрешности измерения температуры.

Основные характеристики ТР приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Характеристики терморезисторов

Тип терморезистора	Класс допуска	Диапазон измеряемых температур, $^\circ\text{C}$	Допускаемые погрешности измерения температуры $^\circ\text{C}$
Платиновый (ТСП)	А	От -260 до -250 От -250 до -200 От -200 до +750	3,0 2,0 0,15+0,002T
	В	От -200 до +1100	0,30+0,005T
	С	От -100 до +1100	0,60+0,008T
Медный (ТСМ)	В	От -200 до +200	0,25+0,0035T
	С	От -200 до +200	0,50+0,0065T

По динамическим свойствам ТР являются линейным инерционным звеном первого порядка и их свойства полностью описываются постоянной времени (для ТР используется термин показатель тепловой инерции). Для вышеприведенного примера этот показатель равен 30 сек, следовательно время необходимое для измерения температуры при ее скачкообразном изменении будет в зависимости от требуемой погрешности составлять 2-3 мин.

Структурная схема измерителя температуры приведена на рис. 1 и включает в себя следующие звенья: ТР - терморезистор; ИП - измерительный преобразователь сопротивления в напряжение; АЦП - аналого-цифровой преобразователь, ВУ - вычислительное устройство.

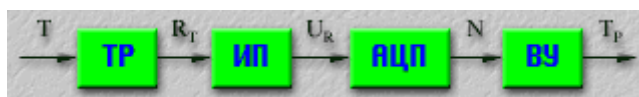


Рис. 1 – Структурная схема измерителя температуры

Определим результат измерения температуры, для чего последовательно рассмотрим процесс преобразования температуры звеньями структурной схемы. Рассмотрим характеристики преобразования отдельных звеньев структурной схемы.

Как уже отмечалось, в качестве датчика температуры целесообразно использовать платиновый терморезистор. Для широкого диапазона температур общая зависимость сопротивления от температуры может быть представлена в следующем виде. В более узком диапазоне температур, характерном для климата России, эту зависимость можно аппроксимировать линейной функцией

$$R_T = R_0(1 + AT) + R_0 + K_C T,$$

где R_0 - сопротивление ТР при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зададим диапазон изменения температуры $T_{\min}; T_{\max}$ и соответствующий ему диапазон измерения сопротивления ТР $R_{\min}; R_{\max}$, а также величины изменения $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ и $\Delta R = R_{\max} - R_{\min}$.

Тогда можно представить градуировочную характеристику ТР в виде

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta R}{\Delta T} T.$$

Погрешность при такой аппроксимации не превысит $\pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне температур $\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Измерительный преобразователь представляет собой преобразователь входной для него величины сопротивления R_T в выходное напряжение U_R . Для определения статической характеристики преобразования зададимся диапазоном изменения выходного напряжения U_R от 0 до U_{\max} , при изменении сопротивления от R_{\min} до R_{\max} . Статическая характеристика может быть представлена в виде

$$U_R = U_0 + K_n R_T.$$

Параметры статической характеристики при заданных выше диапазонах изменения входных и выходных величин равны

$$K_n = \frac{U_{\max}}{R_{\max} - R_{\min}}; U_0 = -K_n R_{\min}.$$

Для АЦП статическая характеристика преобразования равна $N = U_R/q$ и определяется значением кванта по уровню $q = U_{\max}/2^n$, где n - число разрядов выходного кода АЦП. С учетом полученных соотношений характеристика преобразования АЦП имеет вид

$$N = \frac{U_R}{U_{\max}} 2^n.$$

С учетом выше приведенных соотношений получим для выходного кода АЦП

$$N = 2^n \left[\frac{T}{\Delta T} + \frac{R_0 - R_{\min}}{\Delta R} \right].$$

По известному значению кода АЦП можно с помощью ВУ вычислить результат измерения температуры

$$T_p = \frac{1}{2^n} N \Delta T - \frac{R_0 - R_{\min}}{\Delta R} \Delta T.$$

Из полученного соотношения следует, что значения T_R является функцией кода N . Так как минимальное изменение кода равно 1, то соответствующее изменение результата изменения температуры (разрешающая способность) определяется значением

$$\Delta T/2^n = (T_{\max} - T_{\min})/2^n.$$

При изменении температуры от -50°C до $+50^\circ\text{C}$ и 8-ми разрядном коде АЦП разрешающая способность равна $0,4^\circ\text{C}$.

Оценим погрешность измерения температуры при следующих условиях:

Диапазон изменения температуры от -50°C до $+50^\circ\text{C}$;

Выходной код АЦП 8-ми разрядный.

Погрешности измерителя температуры определяются погрешностями отдельных звеньев структурной схемы и включают в себя составляющие:

основная погрешность ТР, которая не превышает $\pm 0,15^\circ\text{C}$;

погрешность аппроксимации реальной характеристики ТР линейной зависимостью $\pm 0,4^\circ\text{C}$;

погрешность квантования, которая при 8 разрядном коде АЦП определяется половиной кванта по уровню и равна $\pm 0,2^\circ\text{C}$;

инструментальные погрешности измерительного преобразователя и АЦП, которые путем калибровки измерителя температуры могут быть сведены к пренебрежимо малой величине.

Таким образом, оценка предельного значения суммарной погрешности измерителя температуры, полученная путем суммирования отдельных составляющих.

Измерение влажности воздуха. Рассмотрим объем влажного воздуха V , находящегося при температуре T . Масса влажного воздуха M в объеме V , давление в объеме $V - P$, при этом

$$M = M_a + M_V,$$

$$P = P_a + P_V,$$

где M_a и M_V - массы сухого воздуха и водяного пара, P_a и P_V - парциальные давления воздуха и пара соответственно.

Абсолютная влажность U_a , показывает, какое массовое количество пара находится в 1 куб. метре и равна $U_a = M_V/V$.

Значение U_a связано с парциальным давлением пара P_V зависимостью $U_a = mP_V/RT_k$, где m - килограмм-моль водяного пара; $R = 8,314$ (дж кГ-моль/°К) - универсальная газовая постоянная; T_k - град. Кельвина.

Максимальное значение $P_{VS}(T)$ при данной температуре T (давление насыщенного пара) соответствует пару, находящемуся в динамическом равновесии с водой, такой пар называется насыщенным. Кривая, изображающая зависимость $P_{VS}(T)$, называется кривой испарения или линией насыщения и задается в виде таблиц.

Максимальное значение абсолютной влажности U_{as} может быть определено по вышеприведенной формуле при $P_V = P_{VS}(T)$.

Относительная влажность U (%) определяется как отношение абсолютных влажностей или парциальных давлений водяного пара P_V к давлению насыщенного пара $P_{VS}(T)$ при данной температуре T воздуха

$$U = U_a/U_{as} = P_V / P_{VS}(T) 100\% .$$

Это наиболее употребляемый показатель при определении влажности, показывающий насколько состояние влажного воздуха близко к насыщению его парами воды.

Температура точки росы T_p - это температура, до которой надо охладить влажный воздух, чтобы достичь насыщения, сохраняя постоянным массовое отношение воды в процессе охлаждения. При температуре точки росы T_p

$$P_V = P_{VS}(T_p)$$

Массовое отношение воды R - определяется по формуле:

$$R = M_V / M_a.$$

Приборы для измерения влажности носят название гигрометров. Гигрометры по принципу действия можно разделить на две группы:

1. Основанные на физическом законе, позволяющем непосредственно измерять влажность: конденсационные, психрометры, электролитические и сорбционные гигрометры.

2. Основанные на измерении параметров тел, связанных с влажностью, например импедансные гигрометры.

Параметры влажного воздуха можно определить с помощью:

а) температуры точки росы T_p - конденсационными, сорбционными и электролитическими гигрометрами;

б) относительной влажности U (%) - определяется с помощью гигрометров на основе изменения сопротивления или емкости, зависящих от влажности.

В настоящее время наиболее простыми в изготовлении и эксплуатации являются импедансные гигрометры, на основе емкостных чувствительных элементов. Основным элементом гигрометра является датчик влажности.

Измерение направления ветра. В отличие от температуры и влажности воздуха, ветер является весьма динамичным, т.е. быстро изменяющимся параметром. Ветер можно представить в виде совокупности двух составляющих: устойчивой, достаточно медленно изменяющейся и быстроизменяющейся (порывы ветра). При прогнозировании последствий чрезвычайных ситуаций следует учитывать первую составляющую, которая и определяет эти последствия.

Выделить устойчивую составляющую ветра можно путем соответствующей обработки результатов измерения мгновенных значений направления и скорости ветра - усреднения за достаточно большой (10-20 минут) интервал времени, что легко может быть выполнено путем вычислений в цифровой форме с помощью ВУ. Для усреднения необходимо сформировать массив мгновенных значений результатов измерения направления и скорости ветра.

Измерительный преобразователь направления ветра имеет вид флюгера, угол поворота флюгера и есть направление ветра. Диапазон угла направления ветра меняется от 0 до 360°. При угле 0° (360°) ветер имеет северное направление, при 90° – восточное, при 180° – южное, при 270° – западное.

Задача измерения направления ветра сводится к измерению углового перемещения флюгера. Наиболее простыми преобразователями углового перемещения являются преобразователи «угол–код», построенные в виде кодирующей маски и устройства считывания кода. Кодовый диск имеет ряд дорожек, составленных из чередующихся участков. Каждой дорожке соответствует чувствительный элемент устройства считывания кода, формирующий значение цифры в дан-

ном разряде кода. В результате диск разбивается на ряд секторов, каждый сектор соответствует определенному значению выходного кода. При повороте диска чувствительные элементы устройства считывания кода находятся в одном из секторов, при этом считывается определенное значение кода. Преобразователь углового перемещения реализует метод считывания при преобразовании аналоговой величины – угла в код.

Для данных преобразователей имеет место погрешность считывания, обусловленная неоднозначностью считывания кода при переходных положениях диска, когда значения кода различаются на 1, а код может меняться сразу в нескольких разрядах. Так, для двоичного кода такими кодами являются коды 1000 (8) и 0111 (7). При искажении цифры в старшем разряде могут быть считаны коды 0000 или 1111, при этом возникает большая погрешность.

Для исключения погрешности применяют специальные коды или усложняют конструкцию устройства считывания. Наиболее часто применяют код Грея, для которого коды, отличающиеся на 1, различаются только в одном разряде. Погрешность считывания для таких кодов не превышает 1. Цифры разряда кодов Грея не имеют определенного веса, что затрудняет вычисления, поэтому код Грея переводится в двоичный код. Правило перевода следующее: код Грея получается из двоичного кода путем суммирования к данному двоичному разряду этого же числа, но сдвинутого на один разряд в сторону младшего разряда и без переноса в процессе сложения 1 в следующий разряд.

Таблица 1 – Примеры кода Грея

Dec	Bin	Грея
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101

Суммарная абсолютная погрешность $\Delta\Phi$ измерения мгновенного значения направления ветра складывается из погрешности квантования $\Delta\Phi_{KB}$, инструментальной погрешности датчика $\Delta\Phi_{И}$, погрешности ориентации датчика на север при его установке на мачту $\Delta\Phi_0$:

$$\Delta\Phi = \Delta\Phi_{KB} + \Delta\Phi_{II} + \Delta\Phi_0.$$

Предельное значение суммарной погрешности можно оценить путем арифметического суммирования предельных значений отдельных составляющих погрешности: отдельно верхних и нижних значений.

Вероятностные характеристики погрешности измерения мгновенных значений направления ветра можно оценить при известных вероятностных характеристиках отдельных составляющих погрешности путем суммирования математических ожиданий и дисперсий отдельных составляющих:

$$M = M_{KB} + M_{II} + M_0, \quad D = D_{KB} + D_{II}.$$

Вычисление среднего значения осуществляется путем осреднения результатов измерения мгновенных значений направления ветра по формуле

$$\Phi_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Phi_i = \frac{1}{m} q \sum_{i=1}^m N_i,$$

где N_i - результаты преобразования направления ветра в код, m – объем выборки при усреднении.

Измерение скорости ветра. В качестве чувствительных элементов датчиков при измерении скорости ветра применяется ветроприемник в виде «чашечной вертушки» (чашечный анемометр), приводимый во вращательное движение воздушным потоком. Вертушка имеет три конических чашки из очень легкого материала, которые скреплены между собой и вращаются под действием ветра. В установившемся режиме при постоянной скорости ветра вертушка вращается с постоянной угловой скоростью, зависящей от скорости ветра.

К валу вертушки присоединен перфорированный диск, который прерывает луч света между источником света и приемником определенное число раз за один оборот диска. В качестве источника и приемника света применяется оптопара, состоящая из светодиода и фотодиода или фототранзистора. Приемник света включен в схему формирования импульсов, которая выдает импульсы при прерывании света перфорированным диском, таким образом обеспечивается преобразование скорости вращения вертушки в частоту прямоугольных импульсов. Следовательно, скорость вращения вертушки, определяемая скоростью ветра, преобразуется в частоту импульсов на выходе датчика.

Между скоростью ветра v и частотой вращения вертушки имеется однозначная зависимость, которая может быть представлена в виде градуировочной характеристики датчика $f = kv$, где f – выходная частота датчика. Линейность характеристики для датчиков скорости

ветра позволяет сравнительно просто на их основе строить средства для измерения скорости ветра.

Структурная схема измерителя скорости ветра приведена на рис. 2. Выходной сигнал датчика представляет прямоугольные импульсы, частота f которых зависит от скорости ветра v . Частота преобразуется в код с помощью преобразователя «частота–код», принцип действия которого основан на подсчете числа импульсов за время измерения $t_{И}$. Значение кода N на выходе ПЧК связано со значением частоты f соотношением $N = f t_{И}$. С учетом градуировочной характеристики датчика $f = 1,22 t_{И} v$ получим зависимость значения кода N от скорости ветра v : $N = 1,22 v t_{И}$.

С помощью вычислительного устройства ВУ по значениям кода N_i вычисляются мгновенные значения скорости ветра $v_i = N_i / 1,22 t_{И}$, а также усредненное за время 10–20 минут среднее значение скорости ветра, которое можно определить по формуле

$$v_{cp} = \frac{1}{1,22 t_{И}} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m N_i,$$

где N_i – значение кода при преобразовании выходной частоты датчика в код; m – объем выборки при усреднении (число результатов измерений мгновенной скорости ветра, полученных за время усреднения).



Рис. 2 – Структурная схема измерителя скорости ветра

Наряду с усредненным значением для скорости ветра определяются порывы ветра как текущее максимальное значение, определенное по отдельным результатам измерения мгновенной скорости ветра v_i :

$$v_{MAX} = \max(v_i).$$

Погрешность измерения скорости ветра складывается из погрешности квантования (обусловленной преобразованием частоты в код) и основной погрешности датчика. Абсолютная погрешность преобразования частоты в код является случайной величиной, распределенной по треугольному закону на интервале $[-q, +q]$, где $q = 1/t_{И}$ – квант по уровню. Предельные значения погрешности квантования частоты равны $\pm q$, математическое ожидание погрешности равно нулю, а дисперсия $-q^2/6$.

Предельные значения погрешности квантования при измерении мгновенной скорости ветра равны $\Delta v_{KB} = v/N = \pm 1/1,22 t_M$. При $t_M = (1 - 5)$ сек $\Delta v_{KB} = (0,8 - 0,2)$ м/с, что соизмеримо с основной погрешностью датчика. Эту погрешность можно рассматривать как случайную величину, распределенную по треугольному закону на интервале $[-\Delta v_{KB}; +\Delta v_{KB}]$ с дисперсией, равной $\Delta v_{KB}^2/6$, и математическим ожиданием, равным нулю.

Предельное значение абсолютной погрешности измерения мгновенной скорости ветра Δv складывается из двух составляющих: основной погрешности датчика Δv_D и погрешности квантования скорости ветра Δv_{KB}

$$\Delta v = \pm \left[\Delta v_D + \frac{1}{1,22 t_M} \right].$$

При $t_M = 5$ сек и скорости ветра более 5 м/с погрешность квантования более чем в 4 раза меньше основной погрешности датчика и ее значением можно пренебречь.

Погрешность при вычислении среднего значения скорости ветра обусловлена погрешностями измерения мгновенных значений скорости ветра Δv , а также машинными погрешностями, возникающими при вычислении. Если разрядность ВУ достаточно велика и при вычислении среднего значения не производится округление вследствие переполнения разрядной сетки, то машинную погрешность при вычислении среднего значения можно принять равной нулю.

Известно, что при усреднении по m значениям результатов измерений при наличии случайной погрешности отдельных измерений среднее значение будет случайной величиной. Известно также, что при суммировании большого числа независимых случайных величин с дисперсией σ^2 независимо от вида распределения слагаемых среднее значение будет иметь нормальный закон распределения с дисперсией $\sigma_{cp}^2 = \sigma^2/m$. Таким образом, дисперсия погрешности среднего значения при независимых погрешностях в каждом измерении уменьшается в m раз, систематическая погрешность не изменяется. Из физических соображений погрешности квантования при отдельных измерениях можно считать случайными независимыми величинами и при определении среднего значения при заданном значении m и значении дисперсии погрешности отдельного измерения $\Delta v_{KB}^2/6$ дисперсия погрешности среднего значения равна $\Delta v_{KB}^2/6m$.

При известном среднеквадратичном отклонении σ_{cp}^2 для нормального распределения случайной погрешности среднего значения эта погрешность не превышает с заданной доверительной вероятно-

стью P_D значения $\Delta v_{сд} = \pm k\sigma$, где k – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P_D : $k = 2$ при $P_D = 0,95$, $k = 3$ при $P_D = 0,997$.

Погрешность измерения средней скорости ветра складывается из погрешности датчика и случайной погрешности, оценка которой получена ранее. Считая погрешность датчика Δv_D систематической в качестве оценки для доверительного интервала погрешности измерения среднего значения скорости ветра при $P_D = 0,997$ получим

$$\Delta v_{cp} = \pm \left[\Delta v_D + \frac{3}{1,22t_H \sqrt{6m}} \right].$$

Так как значение P_D близко к 1, полученное значение можно принять в качестве оценки предельного значения погрешности измерения среднего значения скорости ветра.

Из полученной формулы видно, что погрешность измерения средней скорости ветра может быть сведена к систематической погрешности датчика при $t_H = (1-5)$ сек и большом времени усреднения, когда $m \gg 1$.

Таким образом, погрешность измерения максимальной и средней скорости ветра определяется погрешностью датчика.

Измерение химического загрязнения воздуха. Метод измерения химического загрязнения воздуха – это стратегия получения адекватной информации об объекте исследования, основанная на знаниях о химических реакциях и физических процессах.

Спектральный анализ. Спектр функции – совокупность значений пар чисел (квадратов амплитуд и частот), которые может принимать данная величина, испытывающая колебания. Спектр колебаний – совокупность простых гармонических колебаний, на которые может быть разложено сложное колебание, не являющееся в общем случае гармоническим. Спектры заключают в себе двухмерную аналитическую информацию, в которой закодированы природа и количество энергетических переходов в атомах и молекулах.

Объектом классической молекулярной спектроскопии являются изолированные молекулы, не испытывающие влияния межмолекулярных взаимодействий. Как правило, исследуемая молекула испытывает воздействие внешних электромагнитных полей и полей внешних воздействий окружающих частиц. Таким образом, спектры характеризуют не индивидуальную молекулу, а систему молекул – окружающая среда. Взаимодействие электромагнитного излучения с частицами образца может быть упругим и неупругим. Упругие взаимодействия лежат в основе оптических волновых явлений и вызывают изменения направления распространения электромагнитных волн или энергетически эквивалентных частиц, кинетическая энергия которых остается неизменной. При неупругих взаимодействиях определенный обмен

энергиями между излучением и частицами исследуемого образца протекает на основе квантово-оптических процессов. Это происходит в ограниченной части электромагнитного спектра, охватывающего определенную область энергий.

Межмолекулярные взаимодействия проявляются в изменении спектра молекул, приводя к: сдвигу полос поглощения и испускания; изменению формы полос; возникновению новых или исчезновению полос.

Микроволновая спектроскопия. Область исследования микроволновой спектроскопии находится в дальнем инфракрасном и микроволновом диапазоне. Разрешение может достигать 10^{-8} см^{-1} , что позволяет с большой определенностью идентифицировать химические соединения и определять структуру молекул. Микроволновые спектры также эффективно используются для изучения изотопного состава.

Инфракрасная спектрометрия исследует колебательные и вращательные переходы в молекулах, используя спектры испускания, поглощения и отражения. Анализ ИК-спектров позволяет проводить идентификацию молекул, анализировать смеси количественно.

Оптико-акустические методы. Оптико-акустический эффект возникает в результате преобразования части энергии возбужденных под действием излучения молекул в тепловую энергию среды за счет безызлучательной деактивации. Поглощение модулированного на звуковой частоте потока ИК-излучения приводит к возникновению пульсаций в замкнутом объеме абсорбционной ячейки (спектрофоне).

Флуоресцентный метод. Разграничение люминесценции (излучение света материальными системами, избыточного над тепловым при данной температуре) на флуоресценцию и фосфоресценцию носит условный характер и связано с длительностью послесвечения.

Хемилюминесцентный метод. Хемилюминесценция представляет собой свечение, возникающее при возбуждении продуктов химической реакции в результате переноса энергии от других продуктов реакции или компонентов, участвующих в реакции. При хемилюминесценции происходит прямое преобразование химической энергии в световую, что позволяет изучать элементарные акты химических превращений, строение молекул, перераспределение энергии в продуктах реакции, измерять скорости реакций и определять концентрации веществ, участвующих в реакции.

В газофазных реакциях хемилюминесценция наблюдается в реакциях с участием свободных радикалов и атомов (например, $\text{NO} + \text{O} \rightarrow \text{NO}_2$), протекающих с выделением теплоты. Интенсивность хемилюминесценции зависит от многих физических и химических факторов, таких как химический состав и строение молекул, энергетическое состояние, концентрация люминесцирующих веществ, примесей, температуры, давления и других. Интенсивность хемилюминес-

ценции пропорциональна скорости химической реакции и выходу хемилюминесценции, т.е. числу квантов хемилюминесценции на один акт реакции. В ходе химической реакции в излучение переходит энергия, не превышающая сумму энергии активации и теплового эффекта реакции. Процесс хемилюминесценции происходит в две стадии. Стадия возбуждения – это образование в химической реакции богатых энергией частиц (продукта реакции) P в том состоянии (P^*), из которого возможен излучательный переход $A+B \rightarrow P^*+K+M$, где A и B – исходные реагенты; P^* – возбужденный продукт; K и M – другие продукты реакции. Вторая стадия хемилюминесценции – переход возбужденных молекул P^* в нормальное состояние P с излучением фотона: $P^* \rightarrow P + h\nu$.

Также в газовом анализе находят применение абсорбционный метод фотоколориметрический метод.

Выводы: в одной статье нельзя полностью отразить требования к системам наблюдения и проведения анализа для таких чрезвычайно сложных процессов которые протекают в результате возникновения аварий и катастроф. В то же время удалось систематизировать имеющийся математические подходы, для проведения дальнейших практических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1 Матухов Н.А., Петров В.П. Ахметханов Р.С. Природно-техногенно-социальные системы и риски // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. – 2004. – № 3. – С. 3 – 30.

2 Овсяник А.И., Чурбанов О.И., Косоруков О.А. Методы решения оптимизационных задач защиты объекта от чрезвычайных ситуаций // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. – 2002. – вып. 3. – С. 88 – 92.

3 Порфирьев Б.Н. Совершенствование управления региональной безопасностью в природно-техногенной сфере // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. – 2003. – вып. 2. – С. 132 – 141.

4 Рейхов Ю.Н., Слепушкин С.Б., Мищенко В.Ф. Предупреждение чрезвычайных ситуаций в техносфере. – Новогорск: АГЗ МЧС, 1999.