

УДК 623.459.004.74 : 543/545

## Технические основы системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения химического оружия

Доктор физико-математических наук, профессор, директор ФГУП ГНТЦ «Инверсия» Госстандарта России **Б. С. Пункевич**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора ФГУП ГНТЦ «Инверсия» Госстандарта России **В. П. Зубрилин**, начальник отдела АО «Конгар» **В. А. Колосов**, заместитель начальника научно-исследовательского управления НТЦ ФУ БХУХО **А. Б. Полков**, кандидат технических наук, начальник отдела ФГУП ГНТЦ «Инверсия» Госстандарта России **Е. М. Загребин**, кандидат химических наук **К. Н. Иванов**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела ФГУП ГНТЦ «Инверсия» **С. О. Памфилов**

Обеспечение гарантированной безопасности работ по уничтожению химического оружия (ХО) требует создания высокоэффективной, надежной системы мониторинга рабочих параметров технологических процессов и состояния окружающей среды в районе размещения объектов уничтожения ХО [1, 2]. Основой системы мониторинга является химико-аналитический контроль для оценки соблюдения рабочего режима технологического процесса и показателей безопасности функционирования объекта.

Ввод в эксплуатацию в ближайшее время объектов уничтожения ХО требует правильной организации и введения в действие системы химико-аналитического контроля, адаптированной к конкретному объекту. Принципы функционирования отдельных звеньев этой системы обсуждались в специальных выпусках Российского химического журнала [3—5]. В настоящей работе преследовались цели систематизации задач химико-аналитического контроля и обоснования концептуальных положений создания логической структуры системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО.

Создание такой системы на каждом конкретном объекте требует комплексного учета большого числа различных факторов, в том числе типа уничтожаемого отравляющего вещества (ОВ), применяемых технологий, приборного обеспечения, расположения объекта, а также соответствующих показателей экосистемы. Вместе с тем, при разработке системы химико-аналитического контроля должны применяться единые методологические подходы, определяющие принципы

построения системы, объекты контроля и порядок функционирования.

Целью химико-аналитического контроля является постоянное получение оперативной информации о содержании отравляющих веществ и продуктов их детоксикации в контролируемых зонах, а также о динамике возможного изменения уровня их концентраций. Такая информация крайне необходима для контроля безопасности функционирования объекта уничтожения ХО, для оперативного принятия решения по предотвращению поступления отравляющего вещества и продуктов его детоксикации в окружающую среду при нарушении технологического процесса, а также для своевременного оповещения рабочего персонала объекта и населения в случае аварийных выбросов ОВ.

Объектами химико-аналитического контроля при проведении работ по уничтожению ХО являются:

- воздух в складских помещениях объектов хранения, в рабочей, промышленной и санитарно-защитной зонах объектов уничтожения ХО;
- вода сточная, дождевая, паводковая, водоемов селитебных мест;
- почва в промышленной и санитарно-защитной зонах;
- вентиляционные выбросы;
- поверхность технологического оборудования;
- средства индивидуальной защиты персонала;
- ОВ в боеприпасах и емкостях;
- реакционные массы и отходы производства.

Отметим, что до начала функционирования объекта уничтожения ХО предусматривается определение фоновых концентраций вредных веществ в различных средах (атмосферный воздух, вода, почва, растительность).

Основная задача контроля при ликвидации химического оружия заключается в количественном определении содержания ОВ и продуктов их детоксикации в пробах исследуемых объектов окружающей и техногенной среды и оценка их соответствия нормативным уровням. Полученные данные служат основанием для подтверждения факта уничтожения определенного количества и соответствующего типа ОВ, для обеспечения контроля за соблюдением технологического регламента процесса уничтожения ОВ и за безопасностью персонала, инспекционных групп Организации по запрещению химического оружия, населения и окружающей среды.

Все контролируемые показатели можно разделить на три основные группы.

Одну группу составляют показатели, по которым осуществляется контроль параметров технологического процесса детоксикации ОВ: качественный состав и масса ОВ в исходном сырье, поступающем на уничтожение (входной контроль); концентрация ОВ в реакционных смесях на стадиях, предусмотренных технологическим регламентом, в реакционных массах (продуктах), подлежащих утилизации (выходной контроль) и в отработанных дегазационных растворах.

В другую группу входят показатели производственной и экологической безопасности: концентрация ОВ и продуктов детоксикации в воздухе рабочей, промышленной и санитарно-защитной зон, в потоках абгазов, в сточных, дождевых, паводковых водах и в воде водоемов селитебных мест, в почве промышленной и санитарно-защитной зон; плотность заражения поверхностей технологического оборудования и средств индивидуальной защиты.

К группе показателей, подлежащих международному инспекционному контролю в рамках Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении [6], относятся такие показатели первой и второй групп, как масса ОВ, находящегося на объекте хранения химического оружия (инвентарный учет), масса и качественный состав ОВ в партии химического оружия, подаваемой на уничтожение (входной контроль), концентрация ОВ в воздухе рабочей и промышленной зон объекта, плотность заражения поверхностей

технологического оборудования и средств индивидуальной защиты.

Граничные значения показателей содержания отравляющих веществ и продуктов их детоксикации в контролируемых объектах должны быть строго нормированы:

— для группы параметров технологического процесса техническими условиями, технологическими регламентами;

— для группы показателей производственной и экологической безопасности национальными санитарно-гигиеническими нормативами, нормативными документами по охране окружающей среды;

— для группы показателей, подлежащих международному контролю, соглашениями по объекту.

Химико-аналитический контроль организуется в рабочей, промышленной и санитарно-защитной зонах объектов уничтожения ХО. Он должен осуществляться как в период проектного функционирования объектов, так и при возникновении запроектных ситуаций.

Контроль ОВ и продуктов детоксикации, относящихся к первому классу опасности, должен проводиться в непрерывном и периодическом режимах. В непрерывном режиме осуществляется контроль за появлением пороговых концентраций ОВ в рабочей зоне в случае возникновения аварийной ситуации (аварийный контроль), санитарно-гигиенический контроль условий труда рабочего персонала, контроль вентиляционных выбросов, сточных вод и воздуха по периметру промышленной зоны объекта. Периодически проводится количественное определение ОВ в воздухе в рабочей зоне, а также контроль в промышленной и санитарно-защитной зонах путем отбора проб почвы, воды и воздуха с последующим их анализом в химической лаборатории.

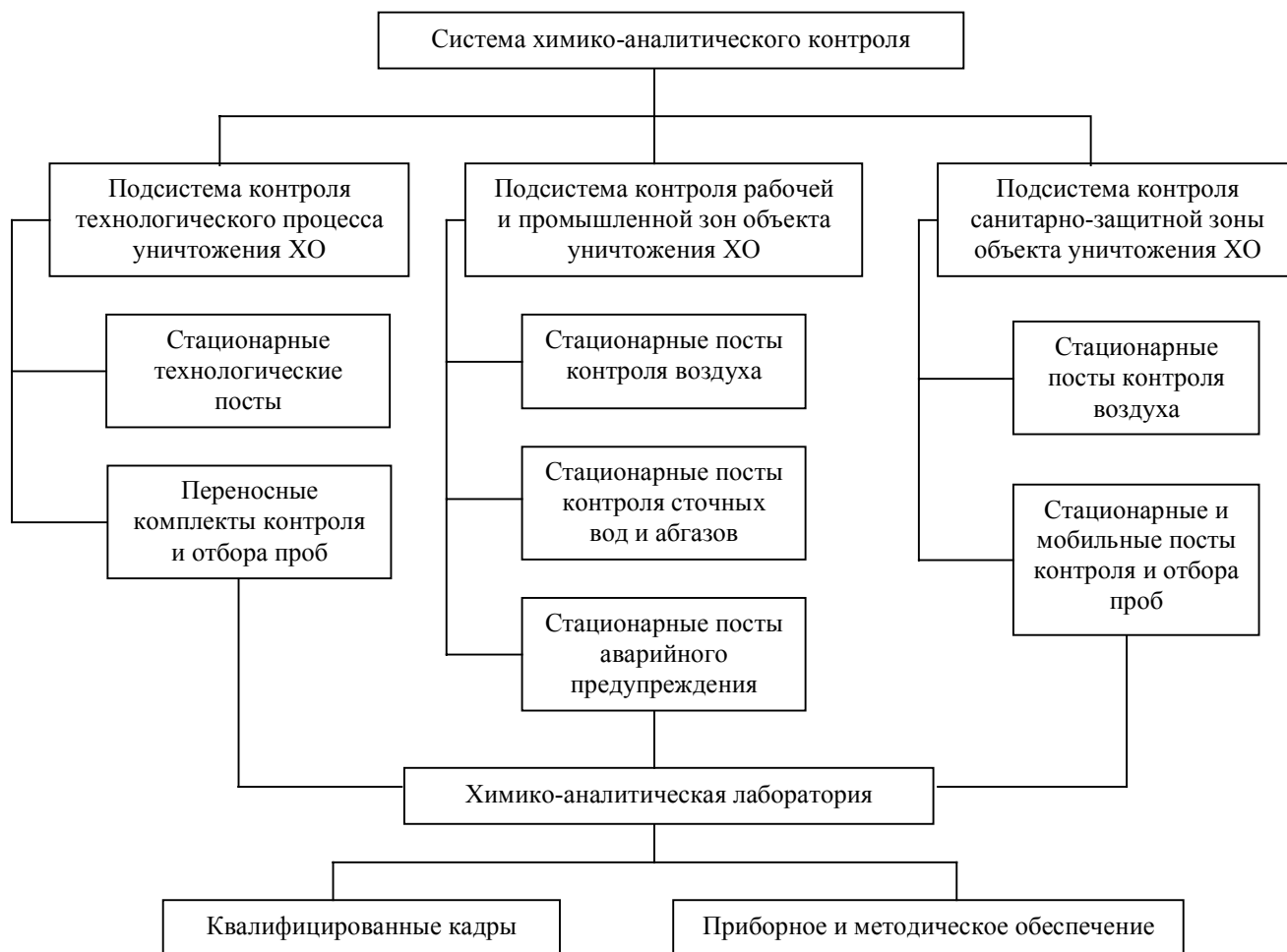
Все перечисленные аналитические задачи четко разбиваются на три основные функциональные направления, в соответствии с которыми система химико-аналитического контроля может быть построена из трех структурных подсистем (см. схему):

— подсистемы контроля технологического процесса уничтожения ХО;

— подсистемы контроля рабочей и промышленной зон объекта уничтожения ХО;

— подсистемы контроля санитарно-защитной зоны.

Подсистема контроля за технологическим процессом уничтожения ХО осуществляет слежение за соблюдением параметров технологического регламента и проверку пол-



### Структурно-функциональная схема системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО

ноты детоксикации ОВ. Она должна обеспечивать отбор и анализ проб ОВ из боеприпасов, определение возможных мест утечки ОВ в технологическом оборудовании, отбор и анализ проб реакционных масс в местах, предусмотренных технологическим регламентом. Техническими элементами этой подсистемы могут быть переносные комплекты контроля, оснащенные пробоотборными устройствами, течеискателями, а также стационарные технологические посты, позволяющие проводить отбор проб ОВ и реакционных масс на определенных стадиях технологического процесса для последующего их анализа в химико-аналитической лаборатории.

Подсистема контроля рабочей и промышленной зон объекта предназначена для проведения аналитических измерений с целью обеспечения безопасности рабочего персонала объекта и соблюдения санитарно-гигиенических нормативов. На данную систему возлагается большой круг задач, основными из которых являются:

- своевременное обнаружение опасных концентраций ОВ в рабочей зоне объекта, что достигается установкой в зоне стационарных постов, оборудованных автоматически газосигнализаторами, способными за несколько секунд

- подать сигнал опасности о пороговых концентрациях ОВ (аварийный контроль);

- контроль в воздухе рабочей и промышленной зон ОВ на уровне предельно допустимых концентраций — ПДКр.з. (санитарно-гигиенический контроль условий труда), что требует оснащения рабочей зоны стационарными постами, оборудованными газоанализаторами, способными непрерывно контролировать с чувствительностью не ниже 0,5 ПДКр.з. [7]. При подаче сигнала о превышении предельно допустимых концентраций ОВ проводится отбор проб воздуха пробоотборниками и последующий их количественный анализ в химико-аналитической лаборатории;

- контроль предельно допустимых выбросов ОВ и продуктов их детоксикации (ПДВ) с помощью газоанализаторов;

- определение уровней загрязнения поверхностей технологического оборудования и средств индивидуальной защиты. Соответствующий контроль проводится методом экспресс-анализа с использованием тест-наборов, а также посредством смывов с поверхностей технологического оборудования и последующим их анализом в химико-аналитической лаборатории;

— контроль сточных вод и абгазов, для чего на каждом воздуховоде после системы очистки, а также в коммуникациях сточных вод устанавливаются стационарные автоматические средства контроля ОВ.

Подсистема контроля санитарно-защитной зоны организуется в целях наблюдения и сбора информации о содержании ОВ и продуктов их детоксикации в воздухе, почве и воде на территории санитарно-защитной зоны и оценки безопасности функционирования объекта уничтожения ХО по отношению к населению и окружающей среде. Основная задача химико-аналитического контроля в этой зоне — периодический отбор проб воздуха, воды и почвы, консервирование и доставка их на анализ, сравнение результатов анализа с предельно допустимыми концентрациями в атмосферном воздухе, воде, почве (ПДКа.в., ПДКв., ПДКп.) с последующей выдачей рекомендаций по снижению (нормированию) выбросов (сбросов) загрязнителей. Эта подсистема включает стационарные посты контроля воздуха и мобильные средства отбора проб. Пробы должны отбираться не только по периметру промышленной зоны объекта, но и вдоль внешней границы санитарно-защитной зоны, в первую очередь, в направлении ближайших населенных пунктов.

Таким образом, основными техническими элементами системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО являются аналитическая лаборатория, стационарные и подвижные посты контроля.

Одним из наиболее важных элементов в системе контроля является химико-аналитическая лаборатория. Она может функционировать как самостоятельное подразделение, предназначенное для обеспечения контроля в целом на объекте, либо входить отдельными функциональными подразделениями в каждую из подсистем (естественно, все эти подразделения целесообразно объединить под единым руководством).

На химико-аналитическую лабораторию возлагается выполнение следующих задач:

- качественный анализ ОВ, поступающего на уничтожение (входной контроль);
- количественный анализ ОВ и продуктов их детоксикации в пробах воздуха рабочей и промышленной зон объекта;
- качественный и количественный анализ продуктов метаболизма ОВ в пробах почвы и воды, отобранных в санитарно-защитной зоне;
- аналитический контроль чистоты поверхности технологического оборудования, средств индивидуальной защиты при проведении регламентных и профилактических работ;

— обеспечение безопасной деятельности международных инспекторов.

Приведем пример лаборатории, функционирующей как самостоятельная структура, решающая задачи по объекту в целом. В ее состав могут входить: отделение (лаборатория) обеспечения контроля технологического процесса, которое проводит физико-химические анализы проб ОВ, взятых из технологической линии, сорбентов воздухоотборных устройств, коммуникаций сточных вод; отделение (лаборатория) контроля окружающей среды, которое проводит анализы проб воздуха, воды и почвы, отобранных в промышленной и санитарно-защитной зоне; отделение стационарных автоматических средств, отвечающее за поддержание в рабочем состоянии соответствующих технических средств контроля (газосигнализаторов, газоанализаторов и т.п.), их обслуживание и градуировку; отделение мобильных автоматических средств контроля, предназначенное для отбора проб воздуха, воды и почвы, их консервирования и доставки на анализ.

Представленная структурная схема системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения химического оружия при адаптации ее к конкретному объекту может быть конкретизирована и дополнена.

Успешное функционирование системы химико-аналитического контроля возможно при наличии соответствующих технических средств и методов контроля, а также подготовленных специалистов для их эксплуатации. Главным критерием выбора оптимального метода и средств измерений для определения каждого конкретного вещества должно служить условие максимального удовлетворения основным требованиям, предъявляемым к анализу высокотоксичных веществ, к которым помимо общих требований (надежность, экономичность, работоспособность в определенных температурных режимах, устойчивость к агрессивным воздействиям) относятся высокая чувствительность определения, быстродействие прибора, высокая специфичность, минимальное время подготовки к повторному анализу.

Для средств санитарно-гигиенического контроля ОВ чувствительность должна быть не ниже 0,5 ПДКр.з. (ПДУ, ПДВ), для приборов, используемых в аварийном контроле — не ниже 100 ПДКр.з., что количественно приближается к значениям опасных концентраций [7].

Что касается быстродействия измерений, то для средств санитарно-гигиенического контроля оно не должно превышать 10—15 минут, для средств аварийного контроля — нескольких секунд [7]. Последствие или готовность к повторному анализу не должно превышать времени быстродействия.

Количественная оценка специфичности определения, выражаемая отношением концентрации анализируемого вещества к концентрации мешающей примеси, для большинства сопутствующих примесей должна соответствовать величине порядка  $10^{-3}$ — $10^{-4}$ , т.е. прибор должен обеспечивать высокую специфичность определения и не давать ложных сигналов [3].

Согласно требованиям ГОСТа [8], время отбора пробы не должно превышать 15 минут. Приемлемая производительность пробоотборника воздуха должна составлять примерно 500 л/мин.

Технические средства контроля должны иметь время непрерывной работы не менее четырех часов (время продолжительности рабочей смены в особо опасных условиях), изготавливаться в пыле- и влагозащищенном, пожаро- и взрывобезопасном исполнении, обеспечивать возможность управления с автоматизированных рабочих мест, передавать постоянно или по запросу по каналу связи информацию об измеряемых количественных характеристиках.

Средства измерений параметров технологического процесса уничтожения ОВ должны обеспечивать безопасность при их эксплуатации в контакте с высокотоксичными средами.

Естественно, выбрать метод качественного и количественного химического анализа, который в полной мере удовлетворял бы всем этим жестким требованиям, в настоящее время не представляется возможным. Кроме того, для обеспечения достоверности идентификации отдельных проб веществ могут потребоваться два (и более) метода качественного и количественного анализа.

Вопросы методического и приборного обеспечения химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО обсуждаются уже довольно длительное время. Анализ публикаций по этой проблеме [3—5, 9] позволяет сделать вывод о возможности и необходимости использования трех групп методов анализа, взаимодополняющих друг друга.

Химические методы анализа хорошо отработаны и дают надежные результаты, однако они имеют недостаточную чувствительность и трудоемки в исполнении. Биохимические методы характеризуются высокой чувствительностью и достаточной специфичностью по фосфорорганическим соединениям. Они используются для анализа наиболее токсичных ОВ. К сожалению, достоинства этих методов снижают малые сроки хранения и слабая термостабильность применяемых в этих методах ферментов. Физико-химические методы анализа (спектральный, электрохимический, ионизационный и др.) обеспечивают наибольшее быстрое действие и обладают высокой информативностью (идентификация, количественное определение и установление структуры веществ). Они широко применяются в

автоматических газоанализаторах. Однако существенным недостатком этих методов является низкая специфичность. Анализ многокомпонентных систем практически осуществим лишь при условии разделения смесей веществ, например, с помощью хроматографии.

Хроматографические методы обеспечивают наиболее высокую специфичность и обладают достаточно высокой чувствительностью. Кроме того, они отличаются высоким быстродействием и возможностью автоматизации, что обеспечивает им лидирующее место в системе химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО.

Среди наиболее надежных и достоверных методов, универсальных в отношении большинства органических соединений, можно выделить ЯМР-спектроскопию, ИК-спектроскопию и масс-спектрометрию. Для двух последних методов разработаны варианты сопряжения с газовыми и жидкостными хроматографами, причем хромато-масс-спектрометрические системы на порядок превосходят по чувствительности современные ИК-анализаторы. Поэтому именно хромато-масс-спектрометрия представляется наиболее перспективным методом для решения многих задач химико-аналитического контроля.

В качестве вспомогательных методов контроля емкостей и боеприпасов с ОВ могут применяться методы рентгенографии, ультразвуковой эхографии, нейтронно-активационного анализа.

Арсенал технических средств измерений, предназначенных для химико-аналитического контроля на объектах уничтожения химического оружия, существенно дополняют пробоотборные устройства, контрольно-измерительные приборы, газосигнализаторы и газоанализаторы, течеискатели и тест-наборы, автоматические средства регистрации и записи аналитической информации и т.п. Полный перечень этих средств определяется для каждого конкретного объекта. При рассмотрении концептуальных положений создания системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО представляется целесообразным провести классификацию этих средств по группам в зависимости от решаемых задач, назначения и сфер применения (табл. 1).

Типовое оборудование химико-аналитической лаборатории приведено в табл. 2.

Выбор конкретных средств аналитического контроля и базовой методологии проведения измерений из применяющихся в настоящее время в различных областях народного хозяйства является сложной задачей. Анализ современных отечественных средств и методов инструментального контроля показывает, что они не отвечают в полной мере международному уровню по ряду показателей.

Таблица 1

## Технические средства контроля ОВ на объектах уничтожения химического оружия

Средства измерений	Метод детектирования ОВ	Зоны использования	Назначение
Газосигнализаторы	Химический, ионизационный, спектрометрия, ионной подвижности	Рабочая и промышленная зоны	Контроль опасных (пороговых) концентраций ОВ
Газоанализаторы	Биохимический, электрохимический, ионизационный, пламенная спектрометрия, ион-кластерная спектрометрия	Промышленная и санитарно-защитная зоны	Санитарно-гигиенический контроль воздуха. Непрерывный контроль вентиляционных выбросов на уровне ПДВ
Сигнализаторы локальной зараженности (течеискатели)	Ионизационный	Рабочая зона, зона хранения, маршруты транспортировки ОВ	Оперативное обнаружение течей в емкостях и боеприпасах с ОВ, неисправностей технологического оборудования в аварийных ситуациях
Тестовые системы (тест-наборы)	Химический, биохимический	Зона хранения, рабочая зона	Экспресс-анализ воздуха, поверхностей технологического оборудования, средств индивидуальной защиты и водных растворов на наличие ОВ
Пробоотборные переносные комплекты		Зона хранения, рабочая и санитарно-защитная зоны	Периодический пробоотбор (ОВ, реакционных масс, воздуха, воды, почвы, смывов с поверхности технологического оборудования и средств индивидуальной защиты), консервирование, доставка в лабораторию для анализа
Приборы неразрушающего контроля	Рентгеноскопия, ультразвуковая эхография, нейтронно-активационный анализ	Зона хранения, рабочая зона	Контроль уровней заполнения и состояния боеприпасов и емкостей, оценка химической структуры наполнителей

Таблица 2

## Основное стационарное оборудование химико-аналитической лаборатории

Тип измерительной аппаратуры	Назначение	Предел обнаружения, мг/м <sup>3</sup> [8]
Газовые хроматографы	Качественный и количественный анализ ОВ и продуктов их детоксикации в пробах, расшифровка их структуры	1•10 <sup>-4</sup> —1•10 <sup>-3</sup>
Жидкостные хроматографы	То же, а также определение лабильных нелетучих соединений	1•10 <sup>-3</sup> —1•10 <sup>-2</sup>
Флюидные хроматографы	То же, а также определение термолабильных соединений в реакционных массах	1•10 <sup>-3</sup> —1•10 <sup>-2</sup>
Ионные хроматографы	Определение кислот, металлов, аминов, поверхностно-активных веществ	1•10 <sup>-2</sup>
Хромато-масс-спектрометры	Качественный и количественный анализ ОВ всех классов и продуктов их детоксикации, органических соединений (мол. масса до 800 а.е.м)	1•10 <sup>-4</sup> —1•10 <sup>-2</sup>
Хромато-ИК-Фурье-спектрометры	Качественный и количественный анализ ОВ всех классов, органических и неорганических соединений в газовых, жидких и твердых пробах	1•10 <sup>-4</sup> —1•10 <sup>-2</sup>
Атомно-абсорбционные спектрометры	Элементный анализ проб (до 60 элементов)	1•10 <sup>-4</sup> —1•10 <sup>-2</sup>
Атомно-эмиссионные спектрометры	Элементный анализ проб (до 70 элементов)	1•10 <sup>-4</sup> —1•10 <sup>-2</sup>

Вместе с тем есть все основания полагать о наличии реальной возможности создания в самое ближайшее время отечественных конкурентоспособных приборов (в основном газоанализаторов, газосигнализаторов, течейскаателей и пробоотборных устройств), отвечающих предъявляемым требованиям.

На основании проведенных в последнее десятилетие исследований под эгидой Организации по запрещению химического оружия рекомендовано использовать для аналитического обеспечения работ по уничтожению ХО стационарные компьютеризованные лабораторные комплексы, включающие системы хромато-масс-спектрометрического и спектрометрического анализа [9].

Одним из наиболее перспективных средств контроля за состоянием окружающей среды являются подвижные лаборатории, оборудованные необходимыми средствами для отбора проб и проведения анализов в полевых условиях. Следует отметить, что проведение анализов на местах существенно снижает затраты и позволяет значительно сократить время принятия решений в случае возникновения аварийных ситуаций.

Проблема приборного оснащения при разработке системы химико-аналитического контроля на объектах уничтожения ХО является одной из приоритетных, так как предполагает решение сложного комплекса научно-технических задач по созданию на базе имеющихся и разрабатываемых технических средств контроля строгой логической системы их надежного взаимодействия и функционирования, в полной мере удовлетворяющей требованиям по обеспечению безопасности рабочего персонала объектов, гражданского населения и окружающей среды.

Для надежного функционирования системы химико-аналитического контроля должна быть разработана и утверждена нормативно-методическая база, строго регламентирующая проведение отдельных стадий химического анализа (пробоотбор, консервирование и транспортировка проб, пробоподготовка, выдача и обработка результатов анализа). Должен быть определен перечень особо вредных веществ и продуктов их разложения, подлежащих контролю, регламентированы предельно допустимые их концентрации в рабочей зоне, в атмосферном воздухе, в воде и почве, предельно допустимые уровни загрязнения технологического оборудования и средств индивидуальной защиты, а также предельно допустимые нормы выбросов и сбросов токсичных веществ. При этом важно подчеркнуть, что нормативы по выбросам токсичных веществ в окружающую среду должны быть установлены на научно обоснованном уровне. Необоснованно высокие нормативы на вы-

бросы и сбросы не только сделают работы более дорогостоящими и затяжными, но практически могут увеличить степень риска для обслуживающего персонала объекта и населения прилегающих районов.

\* \* \*

Изложенные в статье вопросы не исчерпывают перечень задач, определяющих все аспекты создания и надежного функционирования системы химико-аналитического контроля, прежде всего потому, что данная система не является статичной и в процессе уничтожения ХО предполагается ее постоянное развитие и совершенствование.

В заключение следует подчеркнуть, что создание надежной работающей системы химико-аналитического контроля за безопасным и эффективным уничтожением химического оружия является сложной научной проблемой, связанной с проведением значительного объема исследований и оперативным решением целого комплекса организационно-технических задач, что требует четкой координации деятельности специалистов и руководителей всех ведомств, занимающихся проблемой уничтожения химического оружия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. «Об уничтожении химического оружия». Федеральный закон от 2 мая 1997 г. № 76-ФЗ.
2. «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». Федеральная целевая программа. Постановление Правительства РФ от 5 июля 2001 г. № 510.
3. Яценко А.И., Никулин А.В. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева), 1993, т. 37, № 3, с. 10—14.
4. Чеботарев О.В., Дружинин А.А. Там же, 1994, т. 38, № 2, с. 69—73.
5. Холстов В.И., Тарасевич Ю.В. Там же, 1995, т. 39, № 4, с. 65—73.
6. Конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении. ОЗХО, 1996.
7. Концепция метрологического обеспечения уничтожения химического оружия и его бывших производств в Российской Федерации. М., Госстандарт России, 2001.
8. ГОСТ ССБТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М.: Изд-во стандартов, 1991.
9. Федеральные и региональные проблемы уничтожения химического оружия. Информационный сборник, вып. 2, М. ВИНТИ, 2000.