

УДК 623.459.5

## Проблемы быстрой индикации физиологически активных веществ

Ю. Н. Власов

ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЛАСОВ — доктор технических наук, профессор, Военно-научный комитет Министерства обороны Российской Федерации. Область научных интересов: аналитическая химия высокотоксичных соединений, физическая биохимия, экология.

### Введение

Спектр физиологически активных веществ (ФАВ), представляющих в той или иной форме опасность для человека, чрезвычайно широк и многообразен [1, 2]. К числу ФАВ можно обоснованно причислить сильно действующие ядовитые, химические отравляющие, наркотические и взрывчатые вещества, а также разнообразные микробиологические объекты.

Ключевым звеном в системе мероприятий, направленных на ликвидацию последствий возникновения ФАВ в окружающей среде, является решение ряда индикационных задач, которые в обобщенном виде даны на рис. 1. В их числе роль «пускового механизма» принадлежит быстрой индикации ФАВ. Третья задача, направленная на идентификацию ФАВ, наиболее наукоемкая, трудо- и времязатратная. В зависимости от природы ФАВ в ходе решения этой задачи, как правило, применяют процедуры концентрирования пробы и подготовки ее к анализу для последующей расшифровки структуры неизвестного химического вещества и установления его токсических свойств, а для ФАВ биологической природы — диагностику инфекционных заболеваний, оценку устойчивости к лечебным препаратам и т.д. Вторая группа индикационных задач (см. рис. 1) тесно связана с решением первой и третьей задач.

Для решения задач быстрой индикации ФАВ применяют широкий спектр аналитического оборудова-

ния, позволяющего быстро и с высокой чувствительностью обнаруживать заданные вещества. Постоянное совершенствование этого оборудования, введение в его состав специализированных микрокомпьютеров и микроконтроллеров, интеграция с современными технологиями оказывают воздействие как на функционирование, так и на применение аналитической аппаратуры [3–23]. В сущности, аналитические приборы постепенно переходят из сферы функционирования в качестве обычных анализаторов или сигнализаторов в сферу средств разрешения проблем (problem solvers) [24]. Подразумевается, что на выходе приборов нового поколения будут представлены не только аналитические результаты, но также и рекомендации, которые логически вытекают из анализа регистрируемых данных.

### Полевой аналитический прибор для решения задач быстрой индикации ФАВ

Сравнительно давно в зарубежной периодической печати начали использовать новый термин «полевая аналитическая химия» [24, 25]. Рабочим определением этого понятия считается практика получения соответствующей качественной и (или) количественной информации с помощью аналитических приборов, которые работают на месте пробоотбора или рядом с ним. Эти приборы преобразуют регистрируемые данные о химических, физико-химических и других свойствах объекта индикации в удобную для пользователя информацию практически в реальном масштабе времени

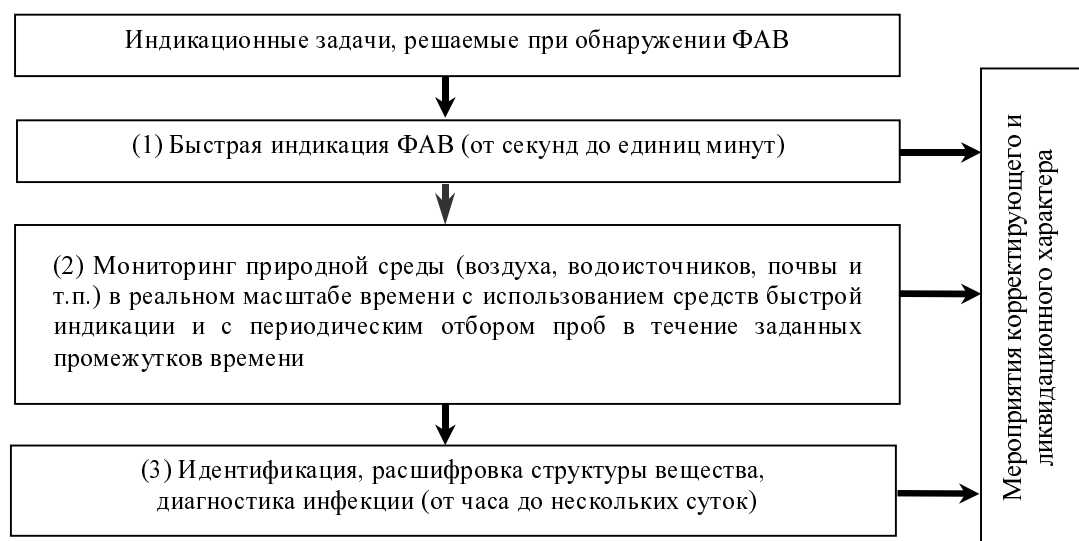


Рис. 1. Схема решения индикационных задач в системе мероприятий, направленных на ликвидацию последствий возникновения ФАВ в окружающей среде

[24]. То есть предполагается, что прибор доставляется к пробе, а не проба к прибору, как это принято при выполнении традиционных аналитических процедур [26], к числу которых относится и этап подготовки пробы к анализу.

С учетом изложенного, под термином «полевая аналитическая химия» понимается совокупность процесса отбора пробы, в рамках которого осуществляется концентрирование обнаруживаемого ФАВ, собственно его анализ и получение достоверной информации о наличии анализируемого ФАВ на месте практически в реальном масштабе времени [24], т.е. его быстрая индикация. Данную информацию используют для решения специальных задач, когда требуется быстрая обратная связь в системе мероприятий корректирующего или ликвидационного характера (см. рис. 1).

В ходе разработки и создания рассматриваемого класса приборов проводится поиск наиболее рационального метода анализа, конструктивных и схемно-технических решений, обеспечивающих возможность обнаружения ФАВ определенного перечня и достижения требуемых показателей по приведенным в таблице техническим характеристикам: в первую очередь по порогу чувствительности, быстрдействию и последствию. Остальные свойства полевого прибора несомненно важны, но зачас-

ту они носят вспомогательный характер.

Анализ разработок полевых приборов показал, что для решения задачи быстрой индикации ФАВ наиболее реализуемыми оказались методы, приведенные на рис. 2. Все перечисленные методы анализа обладают достаточно высокой чувствительностью [3–24]. Приборы на их основе по праву считаются наиболее быстродействующими, но в то же время ни один из этих методов не в состоянии охарактеризовать объект индикации в полном объеме. Используя концентрирование обнаруживаемого вещества из воздуха до уровня рабочих концентраций, они позволяют зарегистрировать лишь один или несколько признаков объекта индикации, не связанных с его действующим началом (для веществ химической природы) или фактором патогенности (для ФАВ биологической природы). Исключением, пожалуй, является только биохимический метод [4, 20–22]. Однако, как известно, приборы, основанные на данном методе, обладают невысоким быстродействием.

Полевой прибор работает напрямую с чрезвычайно сложными матрицами, в которых в процессе отбора пробы определяемого ФАВ неизбежно концентрируются естественные и искусственные компоненты окружающей среды. Их свойства и признаки могут пере-

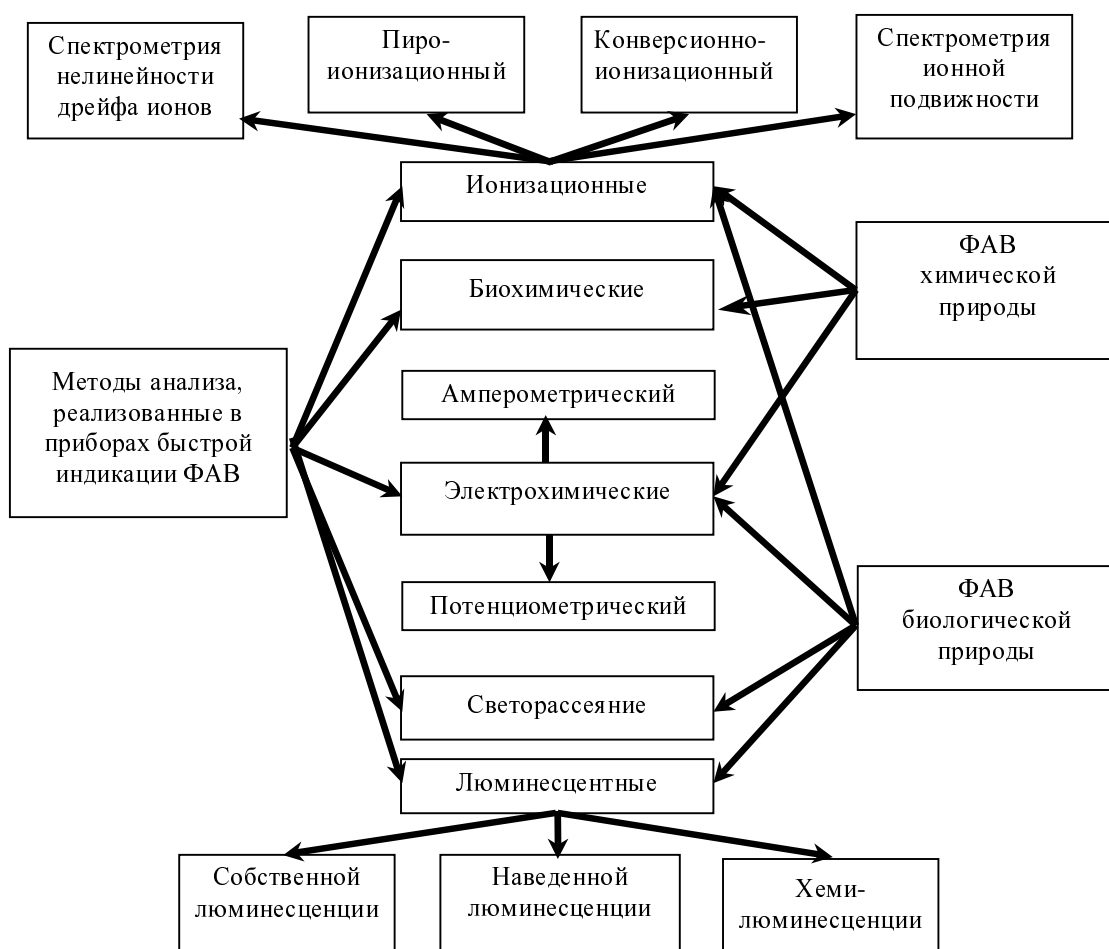


Рис. 2. Физико-химические методы анализа, реализуемые для решения задач быстрой индикации ФАВ

Таблица

| Свойства и технические характеристики полевых приборов       |   |
|--|---|
| Свойства   | Технические характеристики  |
| Аналитические  | Порог чувствительности  |
|  | Быстродействие  |
|  | Последействие   |
|  | Специфичность (избирательность)   |
|  | Разрешающая способность   |
|  | Пределы детектирования  |
| Эксплуатационные   | Точность и воспроизводимость измерений  |
|  | Масса и габариты, транспортабельность   |
|  | Энергопотребление   |
|  | Температурный диапазон работы   |
|  | Уровень потребления материальных ресурсов   |
|  | Легкость в использовании  |
| Повышающие ценность прибора                                  | Уровень операторского мастерства, необходимый для эффективной работы                            |
|  | Надежность и наличие метрологического обеспечения   |
|  | Стоимость   |
|  | Способность к преобразованию регистрируемой информации в последовательность логических действий |
|  | Использование официально принятых методик анализа   |
|  | Надежность предприятия-изготовителя   |
|  | Коммерческая доступность  |
|  | Доступность и качество технической поддержки (сервис)   |
| Наличие и качество технической эксплуатационной документации |   |

секаться с признаками искомого ФАВ, что приводит к неоднозначным или даже ложным оценкам анализируемого вещества. Выделение определяемого ФАВ из матрицы возможно на этапе подготовки пробы к анализу, однако данная аналитическая процедура не осуществляется ввиду ограниченного времени выполнения быстрой индикации ФАВ (см. рис. 1).

Отсюда следует, что при всей значимости технической характеристики — порога чувствительности, быстродействия и др. (см. таблицу) основное внимание должно быть сосредоточено на обеспечении специфичности (избирательности) прибора.

### Формализованное описание индикационного эффекта, регистрируемого полевым прибором при анализе ФАВ

Для дальнейшего изложения материала необходимо более детально остановиться на рассмотрении формализованного описания индикационного эффекта, регистрируемого полевым прибором при анализе определяемого ФАВ в чистом виде и в составе матрицы.

В общем виде для полевого аналитического прибора, проявляющего индикационный эффект при обнаружении подлежащего контролю ФАВ, регистрируемый сигнал ( $S$ ) может быть определен как произведение концентрации этого вещества ( $C$ ) на величину физического отклика прибора от единицы концентрации ( $R$ ) с учетом величины приборного фона ( $b$ ) [25]:

$$S = b + CR \quad (1)$$

Если акцентировать внимание на индикационном эффекте от определенного ( $i$ -ого) ФАВ, то уравнение (1) принимает вид:

$$S_i = b + C_i R_i \quad (2)$$

Графически уравнение (2) имеет вид прямой линии в плоскости координат с изменением по оси абсцисс кон-

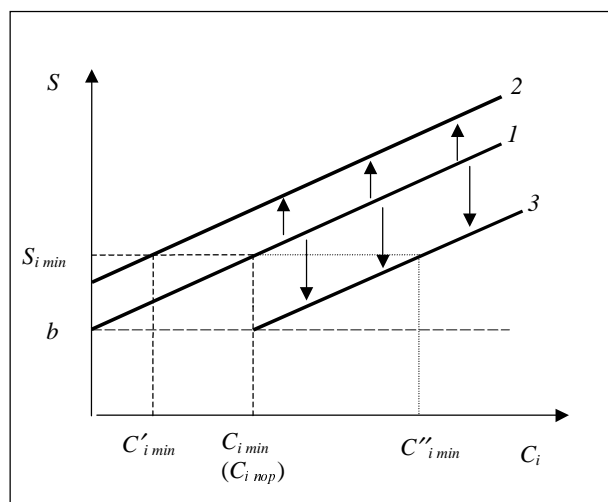


Рис. 3. Характер влияния мешающих примесей на индикационный сигнал полевого прибора:

1 —  $S_i = f(C_i)$ ; 2 —  $S_j = f(C_i)$  при  $C_j = \text{const}$ ; 3 —  $S_k = f(C_i)$  при  $C_k = \text{const}$

центрации  $i$ -ого вещества, а по оси ординат — величины регистрируемого сигнала (рис. 3). Отрезок, образованный пересечением рассматриваемой функции с осью ординат, численно равен постоянной величине, характеризующей фоновые показания прибора ( $b$ ).

Как видно на рис. 3, величина  $S_{i\min}$  пропорциональна численному значению параметра  $C_{i\min}$ , который собственно и является технической характеристикой прибора — порогом его чувствительности  $C_{i\text{пор}}$ . В то же время необходимо учитывать тот факт, что рассматриваемая величина  $S_{i\min}$  имеет смысл только в идеальных условиях, т.е. при отсутствии в анализируемом воздухе естественных и искусственных компонентов окружающей среды, так называемых «мешающих анализу примесей». В реальной же обстановке весьма вероятна ситуация, когда выдача сигнала о присутствии в воздухе определяемого  $i$ -го вещества может происходить при концентрациях  $C_i$  ниже пороговых или даже равных нулю. Данная ситуация складывается при влиянии на величину регистрируемого сигнала  $j$ -ой мешающей примеси, накопленной в пробе до концентрации  $C_j$ . Результатом такого негативного влияния является проявление «ложного» сигнала прибора.

Уравнение, описывающее «ложный» индикационный сигнал, регистрируемый прибором  $S_j$ , имеет вид:

$$S_j = b + C_i R_i + \sum_{j=1}^n C_j R_j, \quad \text{при } 0 \leq C_i < C_{i\min} \quad (3)$$

где  $R_j$  — физический отклик прибора на единицу концентрации  $j$ -ой мешающей примеси, неотличимый от отклика, проявляющегося при обнаружении определяемого  $i$ -го вещества;  $n$  — количество  $j$ -х мешающих примесей, обуславливающих проявление «ложного» сигнала.

Влияние примеси на индикационный эффект прибора можно также представить графически (см. рис. 3). Функция  $S_j = f(C_i)$  при  $C_j = \text{const}$  будет параллельно смещена относительно оси ординат выше графика функции  $S_i = f(C_i)$  на величину  $\sum_{j=1}^n C_j R_j$ . Если

данная величина является фиксированной, то прибор, как видно на рис. 3, будет выдавать сигнал при концентрации определяемого  $i$ -го вещества ниже  $C_{i\min}$ . Возможность проявления «ложного» срабатывания должна учитываться при конструировании и производстве прибора. Один из способов снижения влияния мешающих компонентов на величину сигнала аналитического прибора состоит в искусственном завышении  $S_{i\min}$ . Однако этот метод оптимизации работы прибора может использоваться с определенными ограничениями: при необоснованно завышенных значениях  $S_{i\min}$  нередки ситуации, когда в реальной обстановке определяемое вещество может быть не обнаружено вообще.

Второй негативный фактор, влияющий на работу прибора, связан с тем, что отклик прибора на определяемое вещество является величиной, зависимой от примененных в приборе метода анализа и технологии детектирования. В частности, некоторые мешающие соединения способны снижать величину индикационного сигнала — «маскировать» индикационный эффект. Влияние ме-

шающей примеси, приводящее к пропуску аналитического сигнала можно описать уравнением:

$$S_k = b + \left( C_i - \sum_{k=1}^m P_k C_k \right) R_i \quad (4)$$

в котором концентрация определяемого вещества  $C_i$  уменьшается на величину произведения концентрации  $k$ -ой мешающей примеси  $C_k$  и коэффициента  $P_k$ , учитывающего характер влияния этой примеси. Число  $m$  в уравнении (4) — это количество мешающих примесей, обуславливающих пропуск «полезного» сигнала.

Уравнение (4) также можно проиллюстрировать графически (см. рис. 3). Разность  $C_i - \sum_{k=1}^m P_k C_k$  в урав-

нении (4) приводит к смещению графика функции  $S_i = f(C_i)$  по оси ординат вниз. Это смещение сопровождается изменением величины аналитического сигнала  $S_j$  в сторону уменьшения, т.е. при условии присутствия в анализируемой пробе  $k$ -ой мешающей примеси, сигнал прибором регистрироваться не будет, хотя концентрация определяемого вещества  $C_i$  может быть значительно выше порога чувствительности прибора  $C_{i\min}$ .

В реальных условиях эксплуатации полевого аналитического прибора высока вероятность присутствия в анализируемой пробе одновременно с определяемым веществом нескольких примесей с различным характером влияния на индикационный сигнал. Вследствие этого, обобщенное уравнение, учитывающее данное обстоятельство, будет иметь вид:

$$S' = b + \left( C_i - \sum_{k=1}^m P_k C_k \right) R_i + \sum_{j=1}^n C_j R_j \quad (5)$$

Уравнение (5) наиболее полно отражает влияние на фактические результаты работы полевого прибора разнообразных мешающих примесей атмосферы, возникающих в реальных условиях эксплуатации. Вполне понятно, что установление вида функций (2—5) возможно только на основе физического моделирования работы прибора в лабораторных и полевых условиях.

#### Физическое моделирование работы полевого прибора

Физическое моделирование работы прибора является наиболее трудоемким и в то же время наиболее распространенным этапом разработки полевой аналитической аппаратуры. В лабораторных и полевых условиях воспроизводятся тип среды функционирования прибора, включая температурный диапазон, создаются заданные концентрации подлежащих анализу ФАВ и мешающих этому анализу примесей атмосферы естественного и искусственного происхождения, имитируется при необходимости размещение прибора на объекте подвижности и т.д. В этих условиях проводится настройка полевого прибора, оценка достигнутого уровня основных технических характеристик и корректировка параметров его аналитического, электронного и логического узлов.

Представление о типовом оборудовании, применяемом для этих целей, можно составить из анализа схемы приведенной на рис. 4.

Средства и методы создания концентраций веществ, подлежащих обнаружению в анализируемом воздухе, а также мешающих анализу примесей атмо-

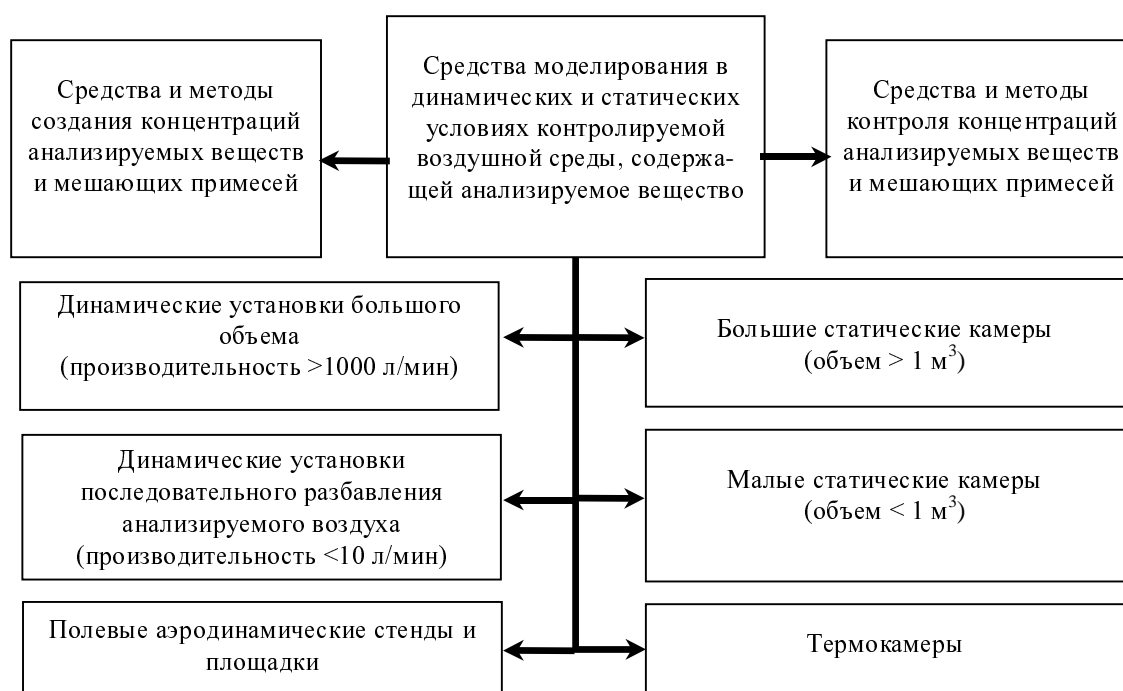


Рис. 4. Типовое оборудование, применяемое при физическом моделировании процесса функционирования полевой аналитической аппаратуры

сферы естественного и искусственного происхождения, широко распространены и достаточно хорошо изучены [26–28]. Их выбор обуславливается исходным агрегатным состоянием генерируемого вещества, а также свойствами воздушной смеси, которые необходимо моделировать при создании и испытании полевой аналитической аппаратуры. К средствам рассматриваемой группы относятся баллоны со сжатыми газами, мембранные и капиллярные генераторы газообразных веществ, генераторы сухих и жидких аэрозолей с различной производительностью.

Основу средств и методов контроля концентраций, моделируемых индивидуальных веществ и их смесей, составляют традиционные методы аналитической и физической химии, физической биохимии, а также аппаратура, предназначенная для отбора, концентрирования и подготовки проб воздуха для последующего количественного анализа определяемых веществ [27–32].

С помощью больших статических камер в нормальных климатических условиях (НКУ) моделируются облака анализируемых веществ в широком диапазоне концентраций  $C_{\min} \div C_{\max}$ . Причем, созданная та или иная концентрация вещества может длительное время поддерживаться практически на одном уровне, если объем камеры значительно превышает объем воздуха, отбираемого для анализа и для периодического контроля концентрации вещества.

Некоторые вещества за достаточно короткое время способны претерпевать химические превращения на воздухе, изменяя при этом свои физико-химические, химические, биохимические или какие-либо другие

свойства, ответственные за проявление индикационного эффекта  $S$  прибора. Для моделирования работы прибора с такими веществами используют динамические установки, снабженные каскадом буферных емкостей, в каждую из которых подается регулируемый объем чистого воздуха. В результате обеспечивается последовательное доведение концентрации вещества до требуемого уровня и поддержание его в течение заданного времени. Расход анализируемого воздуха в рассматриваемых динамических установках не велик и может составлять несколько литров в минуту [26]. Единственным условием корректного моделирования облаков анализируемых веществ является меньший или, по крайней мере, равный объему камеры расход воздуха, отбираемого исследуемым прибором.

С использованием больших статических камер и динамических установок последовательного разбавления анализируемого воздуха, как правило, решаются первые четыре задачи создания полевого аналитического прибора, относящиеся к этапу разработки методики выполнения анализа и ее приборной реализации (рис. 5). При необходимости на этом этапе уточняются или корректируются методика выполнения анализа, принятые конструктивные и схемные решения аналитического прибора.

В последние годы существенно возросли требования к порогу чувствительности прибора при обнаружении целевых веществ [26, 27]. Это предопределило необходимость при моделировании процесса функционирования полевых приборов создавать и соответственно контролировать анализируемые вещества в



Рис. 5. Задачи, решаемые при выполнении физического моделирования процесса функционирования полевого аналитического прибора

предельно низких концентрациях — на два-три порядка ниже, чем чувствительность хорошо апробированных и метрологически аттестованных методов контроля [26, 27, 32]. Естественным выходом в создавшейся ситуации явилось использование динамических установок большого объема с расходами анализируемого воздуха 1000 л/мин и более. Благодаря этому за относительно небольшое время обнаруживаемое вещество удается сконцентрировать до количеств, пригодных для контроля традиционными методами.

Кроме того, динамические установки большого объема применяют в тех случаях, когда расход анализируемого воздуха прибором велик и превышает производительность обычной динамической установки или необходимый объем отбираемой пробы соизмерим с объемом статической камеры.

При физическом моделировании процесса функционирования разрабатываемого прибора для решения пятой и шестой задач (см. рис. 5) используют практически весь парк типового испытательного оборудования (см. рис. 4). На данном этапе разработки теоретически обоснованный перечень из  $m$  вероятных мешающих анализу примесей экспериментально подразделяется на три группы веществ: инертные; способные

инициировать «ложный» сигнал прибора  $S_j$ ; способные замаскировать «полезный» сигнал  $S_k$ .

Моделирование ситуаций воздействия на прибор мешающих примесей заключается в создании, например, в малых статических камерах предельных концентраций индивидуальных веществ, а контролируемым параметром при этом является наличие или отсутствие индикационного эффекта прибора. В результате устанавливается перечень из  $n$  веществ, способных инициировать «ложный» сигнал прибора  $S_j$ . Последовательно снижая концентрацию  $j$ -го вещества, определяют величину  $C_{j_{min}}$ , при которой выполняется условие  $S_j < S_{i_{min}}$ , т.е. тем самым устанавливается вид дискретной функции  $S_j = \phi(C_j)$  с каким-либо произвольным шагом  $\Delta C_j$ .

Влияние на прибор таких примесей атмосферы естественного и искусственного происхождения, как дым костра или пожара, продукты сгорания топлива разного рода двигателей, почвенной пыли или пыльца ветроопыляемых растений и т.д., зачастую оказывается затруднительно смоделировать в лабораторных условиях. Поэтому для этих целей используют полевые аэродинамические стенды и площадки (см. рис. 4),

где, в сущности, воспроизводятся все процедуры направленные на установление вида функции  $S_j = \phi(C_j)$ .

Определение перечня из  $m$  веществ, способных замаскировать «полезный» сигнал и установление вида функции  $S_i = \phi(C_k)$  является наиболее трудоемкой и материалозатратной задачей, поскольку этот этап моделирования предполагает создание и контроль анализируемых веществ в смесях в различных сочетаниях. Легко показать, что только для определения перечня из  $m$  веществ должны быть смоделированы смеси в сочетании каждого  $i$ -го вещества (при  $C_{i\min}$ ) с каждым из  $m-n$  веществ (при  $C_{(m-n)\max}$ ). После этого моделируются смеси в сочетании каждого  $i$ -го вещества (при  $C_{i\min}$ ) с каждым  $k$ -м веществом в концентрациях от  $C_{k\max}$  до  $C_{k\min}$ , когда индикационный эффект  $S_i$  искажается в сторону уменьшения незначимо. Таким образом устанавливается вид дискретной функции  $S_i = \phi(C_k)$  с произвольным шагом  $\Delta C_k$ .

Большинство из перечисленных этапов моделирования процесса функционирования полевого аналитического прибора выполняется при НКУ в лабораторных условиях. При использовании полевых аэродинамических стендов и площадок метеословия, включая температуру окружающего воздуха, контролируются, но по понятным причинам они не могут рассматриваться в виде моделируемых параметров. Поэтому для корректной оценки температурного диапазона работы прибора и определения вида функции  $C_{i\min} = \phi(T^\circ\text{C})$  применяют специально оборудованные термокамеры (см. рис. 4), позволяющие моделировать условия обнаружения анализируемых веществ прибором в широком диапазоне фиксированных и четко контролируемых температур.

Все перечисленные этапы фрагментарного моделирования процесса работы полевого аналитического прибора в лабораторных и полевых условиях позволяют оценить основные технические характеристики прибора (см. таблицу) и определить область практического применения прибора по назначению.

Заключительной задачей физического моделирования (см. рис. 5) является оценка работоспособности прибора в различных климатических и сезонных условиях. На данном этапе изучения характеристик прибора воспроизводятся практически реальные условия его эксплуатации. Провераемыми характеристиками при этом являются наличие отказов и математическое ожидание «ложного» сигнала в отсутствие в воздухе  $i$ -ых анализируемых веществ. Если первая характеристика в большей степени связана с конструктивными и схемными решениями прибора, то выявление второй является логическим продолжением решения пятой и шестой задач, приведенных на схеме (см. рис. 5). Эксплуатационные испытания позволяют оценить в неявной форме влияние неизвестных  $j$ -х веществ, по каким-либо причинам, не включенных в число  $m$  примесей потенциально мешающих анализу  $i$ -х веществ, а также оценить влияние неизвестных негативных факторов внешней среды, которые могут способствовать инициации «ложного» сигнала прибора.

### Заключение

В системе мероприятий направленных на ликвидацию последствий возникновения ФАВ в окружающей

среде ключевым звеном является решение ряда индикационных задач, в числе которых роль пускового механизма принадлежит задаче быстрой индикации ФАВ. Для выполнения данной задачи используют разнообразные полевые аналитические приборы, обладающие высоким порогом чувствительности и малым быстродействием. Однако, несмотря на очевидную важность этих технических характеристик, проблемой остается достижение требуемых показателей по специфичности (избирательности) разрабатываемого прибора, поскольку в реальных условиях эксплуатации он работает напрямую с чрезвычайно сложными матрицами, содержащими наряду с определяемым ФАВ примеси атмосферы естественного и искусственного происхождения. В результате индикационный сигнал прибора может искажаться вплоть до маскировки «полезного» сигнала или проявления «ложного». А это, в свою очередь, будет приводить к неоднозначным или неверным оценкам наличия анализируемого вещества в воздухе.

Таким образом, в процессе разработки полевого прибора значительное внимание должно уделяться оценке его специфичности (избирательности) как в лабораторных, так и в полевых условиях. И только с учетом результатов такой оценки может быть корректно сформировано представление о достигнутых показателях по чувствительности и быстродействию прибора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. U.S. Department of the Army, Potential Military Chemical/Biological Agents and Compounds, U.S. Army Field Manual 3-9, (NAVFAC P-467, AFR 355-7), 12 December 1990. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
2. Committee on Toxicology, National Research Council. 1997. Review of Acute Human-Toxicity703-416-3040 Prepared by: Estimates for Selected Chemical Warfare Agents. Washington, D.C.: National Academy Press.
3. Griboedov Y., Kobtsev B. Proc. 7-th Int. CBW Protection Symp. Stocholm, Sweeden, 2001.
4. Га́йнуллина Э.Т. Ж. Всес. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева, 1970, т. XV, № 5, с. 553.
5. Gunyev A., Palatov Y. Proc. 5-th Int. CBW Protection Symp. Stocholm, Sweeden, 1995, p. 235.
6. Smart J.K. History of CW Detectors, Alarms and Warning Systems. Aberding Proving Ground, MD, 2000, 39 p.
7. Mauroni A., Walden J. New Developments in Chemical-Biological U.S. Army. FM 3-4, NBC Protection, 1992.
8. Katto T., Paakkanen H, Karhapaa T. Proc. 4-th Int. CBW Protection Symp. Stocholm, Sweeden, 1992, p. 103.
9. Wronka D. RAID-1. Bruker Instruments, Inc. Billerica, MA, USA, 1994, 19 p.
10. Kaspetsky T., Thomas F., Kubicsko S., Goetz S. Proc. 5-th Int. CBW Protection Symp. Stocholm, Sweeden, 1995, p. 39.
11. Смирнов В.А. Военный парад, 1998, т. 2 (26), с. 52.
12. Reyes F.L., Jeys T.H., Newbury N.R. Field. Anal. Chem. Technol., 1999, v. 3, № 4-5, p. 240-249.
13. Savu I., Sonu M. Proc. Symp. on nuclear, biological and chemical threats in the 21-st century. NBC 2000. Jyväskylä, Finland, 2000, p. 290-292.

14. *Steven C. Hill., Ronald G. Pinnick.* Field. Anal. Chem. Technol., 1999, v. 3, № 4–5, p. 221–240.
15. *Rothwell I.* Proc. Symp. on nuclear, biological and chemical threats in the 21-st century. NBC 2000. Jyvaskyla, Finland, 2000, p. 130–134.
16. *Tuovinen K., Paakkanen H., Hanninen O.* Proc. Symp. NBC Defence-97. Jyvaskyla, Finland, 1997, p. 108–111.
17. *Edward E. Tarver, Ph.D.* Proc. 8-th Int. Symp. on the Protection Against Chemical and Biological Agents. Gothenburg, Sweden, 2004.
18. Jane's NBC Defense Systems. 1998/1999, p. 335.
19. *Bretich N., Waters M., Bowen G., Tracy M.* Worldwide Chemical Detection Equipment Handbook. Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, VA, 1995, 482 p.
20. *Guilbault G., Kramer D.* Anal. Chem., 1965, v. 37, p. 120.
21. *Guilbault G.* Anal. Biochem., 1963, v. 5, p. 208.
22. *Яковлев В.А.* Биохимия, 1963, т. 28, с. 850.
23. NBC Product and Services Handbook. Proc. 8-th Int. Symp. on the Protection Against Chemical and Biological Agents. Gothenburg, Sweden, 2004.
24. *Eversole J.D., Hardgrove J.J., Choulas P.P. e. a.* Field. Anal. Chem. Technol., 1999, v. 3, № 4–5, p. 249–260.
25. *Fine D.H., Roundbehrer D.P., Curby W.A.* Proc. First Int. Symp. on Explosive Detection Technology, November 13–15, 1991, Atlantic City, New Jersey, p. 505–509.
26. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Энциклопедия «Экометрия». Серия справочных изданий. Под ред. проф. Л.К. Исаева. СПб.: Изд-во «Крисмас+», 1998, с. 692–733.
27. *Горелик Д.О., Конопелько Л.А.* Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения. М.: Изд-во стандартов, 1992, 432 с.
28. Российские экоаналитические технологии. Под ред. А.А. Попова. 1998, 81 с.
29. Экологическая химия. Под ред. Ю. Корте. М.: Мир, 1997, 382с.
30. *Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В.* Аналитическая химия: В двух кн.: кн. 2. М.: Химия, 1990, 480 с.
31. *Хохлов В.Н., Трубников В.И.* Сборник научных трудов ВНИИ аналитического приборостроения. Киев: ВНИИ-АП, 1990, 190 с.
32. *Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д.* Экологический мониторинг. Оптикоэлектронные приборы и системы. В 2-х т. СПб.: Изд-во «Крисмас+», 1998, т. 1, 734 с.