

УДК 574:632.15(045)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-11-17

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАЛПОВЫХ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЯХ СО ВЗРЫВОМ

В. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. В. Цапок, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. А. Цапок, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье рассматривается вариант решения задачи по обнаружению однократных залповых выбросов опасных химических веществ при запроектных авариях на объектах, предназначенных для хранения различных химических веществ, таких как хлор, аммиак, продукты нефтехимии и др.

Предполагается, что авария происходит со взрывом, вызванным аварией на производстве, природным катаклизмом или терактом. Для решения задачи предлагается интегрированный комплекс безопасности химически опасных объектов. Приведена структура автоматизированной системы поддержки принятия решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций на химически опасном объекте. Определен перечень параметров аварийного процесса со взрывом, которые применяются для прогнозирования ситуации на объекте.

Рассматривается методика определения координат взрыва на основании корреляции ряда параметров аварийного процесса. Приведен алгоритм определения координат источника залпового выброса опасных химических веществ. При вычислении координат источника предлагается устанавливать три автоматических поста наблюдения для регистрации параметров сейсмолыни и изменений концентрации опасных химических веществ в атмосферном воздухе.

Своевременное решение на проведение ликвидационных мероприятий позволит сократить количество возможных жертв среди персонала химически опасного объекта и населения, проживающего в районах его расположения.

Ключевые слова: авария, взрыв, залповый выброс, опасные вещества, комплекс безопасности, принятие решений, автоматизация, алгоритм.

Введение

Нестабильная обстановка в мире, выражающаяся распространением терроризма, в том числе химического, а также нарастающие темпы развития научно-технического прогресса свидетельствуют об увеличении риска возникновения запроектных аварий [1] в районах расположения химически опасных объектов (ХОО) [2, 3]. Наиболее опасными запроектными авариями, с точки зрения объема высвобождаемой энергии, являются аварии, сопровождающиеся залповым выбросом – кратковременным выбросом большого количества горючих, и (или) взрывоопасных, и (или) токсичных веществ в атмосферу при аварийной разгерметизации оборудования или по иным причинам [4]. Как правило, такие ситуации характеризуются внезапностью и масштабностью потерь среди персонала и населения, а также нанесением значительного ущерба окружающей природной среде и инфраструктуре объектов.

Основная часть

Величина ущерба от аварий, сопровождающихся залповыми выбросами опасных химических веществ (ОХВ), зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются:

- количественные параметры выброса;
- агрегатное состояние ОХВ в момент аварийного высвобождения, их токсические и физико-химические свойства;

– характер поступления ОХВ в окружающую среду;

- погодные и метеорологические условия;
- характер местности в рассматриваемом районе;
- распределение персонала на объекте;
- своевременность и правильность проведения противоаварийных мероприятий.

На наш взгляд, последний фактор в большинстве случаев является определяющим. Так, при прочих равных условиях своевременное проведение мероприятий по локализации очага аварии значительно снижает последствия ее возникновения как для персонала ХОО, так и окружающей среды в целом.

Вместе с тем любая авария, как событие случайное, имеет бесконечное множество вариантов развития и в связи с этим требует в каждом случае принятия отдельного решения по ликвидации ее последствий. Причем это решение, по своей сути, представляет собой комплекс ответных мер на свершившийся факт аварийного выброса ОХВ. С учетом высокой динамики протекания процессов формирования поражающих факторов, а следовательно, и ограниченности времени на разработку ответных мер, возрастает вероятность принятия неправильного решения.

Первоочередными данными, характеризующими любую аварию, являются сам факт про-

исшествия и координаты его источника. Оперативное решение задач по определению координат источника аварии и координат ее источника становится особо актуальным при возникновении залпового выброса ОХВ [5] в зонах влияния ХОО, характеризующихся большими площадями, сложным ландшафтом, а также наличием многочисленных потенциальных источников опасности [6]. На практике возможны такие запроектные аварии, при возникновении которых оперативно определить координаты выброса ОХВ не всегда возможно. В таких ситуациях, как правило, затруднительно принять правильное решение, например, по путям эвакуации персонала. В случаях когда на ХОО возможны аварии, характеризующиеся взрывом, но не связанные с выбросом ОХВ в окружающую среду, лицу, принимающему решение по ликвидации аварии, потребуется оперативное подтверждение факта отсутствия химического заражения.

Следовательно, чем раньше станет известно о факте и характеристике аварии, о ее координатах, тем оперативнее будут проведены предупредительные мероприятия по оповещению

и эвакуации обслуживающего персонала и населения из предполагаемой зоны заражения.

Таким образом, задачи фиксации факта аварии и оперативного определения местоположения источника залпового выброса ОХВ в районах расположения ХОО, характеризующихся большими площадями, сложным ландшафтом, а также наличием многочисленных потенциальных источников опасности [7], по причине возникновения запроектной аварийной ситуации (теракт, диверсия, природная, техногенная авария) являются первостепенными в проведении противоаварийных мероприятий. Вместе с тем в современных системах безопасности ХОО отдельным акцентом решение этих задач не выделено.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к интеграции систем безопасности различного функционального назначения (охранных, пожарных, видеонаблюдения, контроля и управления доступом и т. д.) в единые комплексы – интегрированные комплексы безопасности [8, 9].

На рис. 1 представлена структурная схема интегрированного комплекса безопасности ХОО.



Рис. 1. Интегрированный комплекс безопасности ХОО

Автоматизированная система поддержки принятия решения при ликвидации чрезвычайных ситуаций на ХОО (рис. 2) предназначена для автоматической фиксации факта происшествия, оперативного определения координат источника залпового выброса ОХВ с использованием корреляционных связей параметров аварийного процесса [10], с последующим оповещением обслуживающего персонала, расчета параметров распространения облаков зараженного облака, расчета сил и средств на проведение ликвидационных мероприятий и поддержку принятия решения на ликвидацию аварии.

Блок ТС регистрации параметров аварийного процесса, метео данных и несанкционированного доступа на ХОО представляет собой систему определенным образом установленных датчиков (приборов), фиксирующих параметры поражающих факторов источника аварии [11] и метео данных, а также систему видеонаблюдения, регистрирующую как факты несанкционированного проникновения на территорию ХОО (террорист, диверсант, беспилотный летательный аппарат, метеорит и т. д.), так и возможную вспышку источника залпового выброса ОХВ (взрыв, пожар).

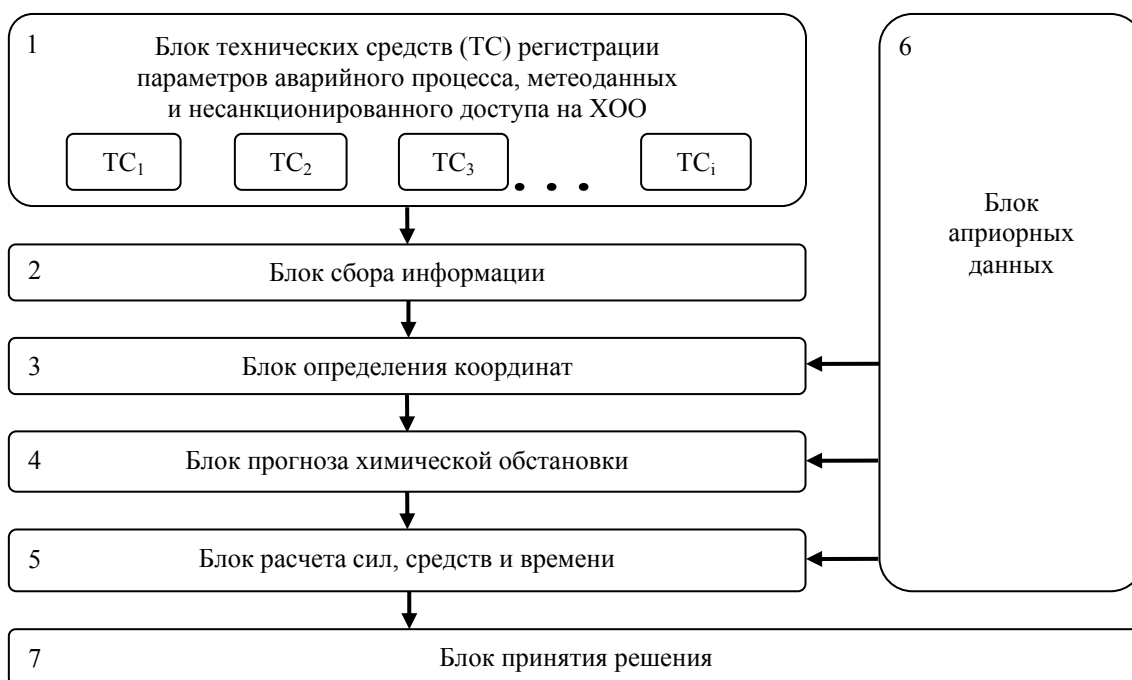


Рис. 2. Структура автоматизированной системы поддержки принятия решения при ликвидации чрезвычайных ситуаций на ХОО

В общем случае к факторам источника техногенной чрезвычайной ситуации, связанной с залповым выбросом ОХВ при взрыве в окружающую среду, относят [12]:

- токсическое действие;
- воздушную ударную волну;
- акустическую волну взрыва;

- волну сжатия в грунте;
- сейсмозрывную волну;
- экстремальный нагрев среды;
- тепловое излучение.

Наименования параметров данных факторов, используемых для прогнозирования, представлены в таблице [13].

Перечень параметров аварийного процесса

Наименование фактора источника аварии	Наименование параметра аварийного процесса, его обозначение и размерность
Токсическое действие	C – концентрация ОХВ, мг/м ³
	ρ – плотность химического заражения местности, мг/см ²
Воздушная ударная волна	$\Delta_{ф}, P$ – избыточное давление во фронте ударной волны, Па
	I_+ – импульс фазы сжатия, Па·с
Акустическая волна	$E_{зв}$ – амплитуда звукового давления, Па
	I – интенсивностью звука, Вт/м ²
Волна сжатия в грунте	q_{max} – максимальное давление в волне сжатия в грунте, Па
Сейсмозрывная волна	V – скорость распространения волны, м/с
	T – время нарастания напряжения в волне до максимума, с
Экстремальный нагрев среды	τ – температура среды, °С
	α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)
Тепловое излучение	Q – энергия теплового излучения, Дж
	W – мощность теплового излучения, Вт

Блок сбора информации предназначен для предварительной обработки сигналов с ТС регистрации параметров аварийного процесса, метеоданных и фактов несанкционированного доступа на территорию ХОО.

Предварительно обработанная информация о параметрах зарегистрированных данных посту-

пает в блок определения координат (расчета), предназначенный для подтверждения факта аварии и вычисления координат источника выброса ОХВ. Также в блок расчета поступает информация из блока априорных данных о характеристиках района расположения ХОО (рельеф местности, общие метеоданные, сведения о рас-

тельности, схема расположения строений, сооружений, мест расположения ТС, распределения и плотности персонала на объекте и т. д.).

Для определения координат выброса ОХВ используется методический аппарат, предложенный в работе [14].

Рассмотрим, в качестве примера, использование корреляционной зависимости следующих параметров аварийного процесса: скорости распространения сейсмволны и облака зараженного воздуха.

Поскольку при возникновении взрыва с выбросом в атмосферу ОХВ значения скоростей распространения сейсмволны и облака зараженного воздуха различны, то система уравнений для определения расстояния до точки выброса ОХВ будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} r = V_1 \cdot t_1 \\ r = V_2 \cdot t_2 = V_2 \cdot (t_1 + \Delta t), \end{cases} \quad (1)$$

где $r = \sqrt{(x_{вз} - x_{ТСi})^2 + (y_{вз} - y_{ТСi})^2}$ – расстояние от ТС до точки выброса; $(x_{вз}, y_{вз})$ – координаты точки выброса; $(x_{ТСi}, y_{ТСi})$ – координаты ТС;

V_1 – скорость распространения сейсмволны; V_2 – скорость распространения зараженного облака; t_1 – время распространения сейсмволны; t_2 – время распространения зараженного облака; $\Delta t = t_2 - t_1$ – задержка распространения зараженного облака относительно сейсмволны.

Решение имеет вид:

$$r = \frac{V_1 \cdot V_2 \cdot \Delta t}{\Delta V}, \quad (2)$$

где $\Delta V = V_2 - V_1$.

При вычислении координат источника залпового выброса ОХВ предлагается установить три автоматических поста наблюдения с ТС регистрации параметров аварийного процесса, метеоданных и несанкционированного доступа на ХОО, используя геометрический принцип их расстановки «треугольником» (рис. 3) [15], где ТС₁, ТС₂, ТС₃ – ТС регистрации параметров сейсмволны и изменения концентрации ОХВ в атмосферном воздухе; $(x_{ТС1}, y_{ТС1})$, $(x_{ТС2}, y_{ТС2})$, $(x_{ТС3}, y_{ТС3})$ – координаты соответствующих ТС регистрации параметров аварийного процесса; r_1, r_2, r_3 – расстояние от источника выброса ОХВ до соответствующих ТС регистрации параметров аварии.

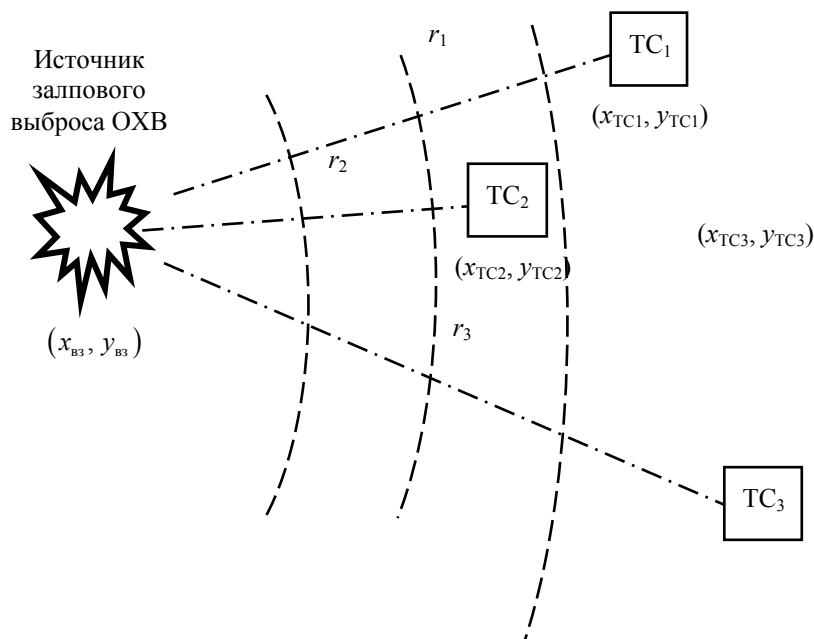


Рис. 3. Схема расположения постов с ТС регистрации параметров аварийного процесса

Зная расстояние от трех ТС, расположенных в «треугольнике», можно однозначно определить координаты выброса ОХВ на местности.

В общем виде блок-схема алгоритма вычисления координат источника залпового выброса ОХВ представлена на рис. 4.

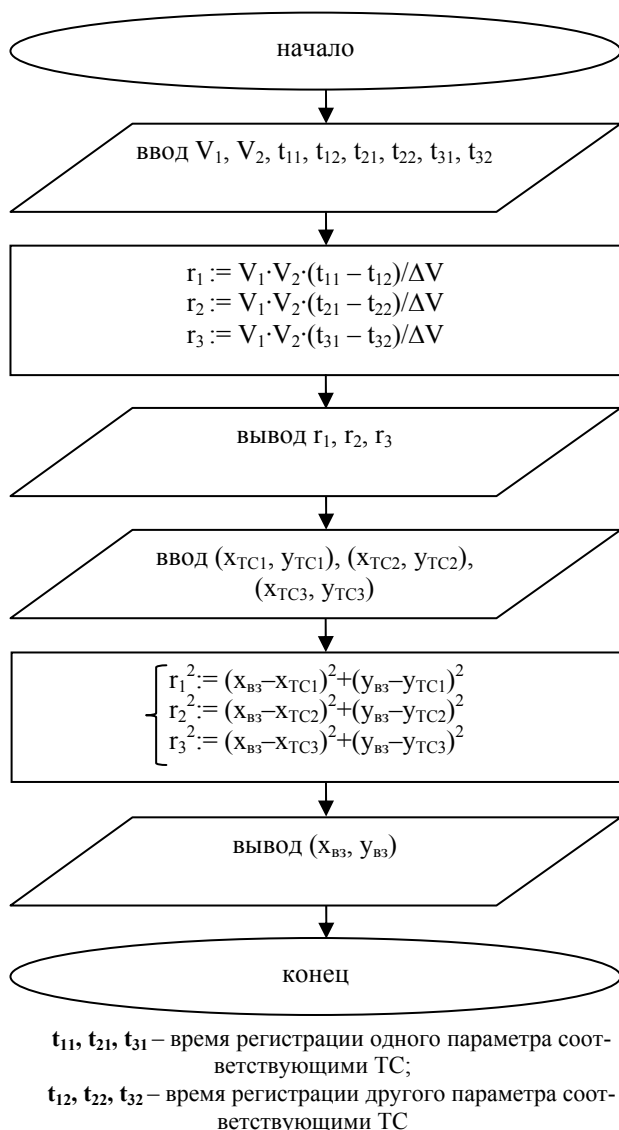


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения координат источника залпового выброса ОХВ

Таким образом, путем геометрической расстановки ТС с использованием принципа «треугольника» и взаимной корреляции по времени аварийных измерительных сигналов, отражающих параметры сейсмических волн и облака зараженного воздуха, представляется возможным получение достоверной информации о координатах источника залпового выброса ОХВ на ХОО, расположенных на территориях со сложным ландшафтом и рельефом местности, и подтверждение достоверности возможного залпового выброса ОХВ.

Следующим структурным элементом автоматизированной системы поддержки принятия решения при ликвидации чрезвычайных ситуаций на ХОО является блок прогноза химической обстановки (рис. 2).

В этом блоке на основании полученной информации о времени выброса ОХВ и координатах его источника, метеорологических данных, а также информации блока априорных данных о номенклатуре и объемах ОХВ, хранящихся или используемых на конкретно вычисленном потенциально опасном объекте (склад, цистерна, технологический узел и т. д.) [16], общих метеоданных, сведениях о ландшафте ХОО, в автоматическом режиме осуществляется расчет скоростей и площадей распространения первичного и вторичного облаков зараженного воздуха.

В блоке расчета сил, средств и времени на основании прогнозных данных о распространении облаков зараженного воздуха, а также априорных данных о фактических запасах дегазирующих рецептур, техники, людских ресурсов, а также нормативных и методических данных на обработку мероприятий по локализации и ликвидации аварии производятся расчеты сил, средств и времени, необходимые для решения соответствующих задач.

В блоке принятия решения автоматизированная система вырабатывает формализованное решение на обработку ликвидационных мероприятий для спрогнозированной ситуации [17].

Заключение

Автоматизированная система предупреждения, локализации и ликвидации запроектных аварийных ситуаций, реализованная на ТС регистрации параметров аварийного процесса, метеоданных и несанкционированного доступа на ХОО, должна разрабатываться с учетом современных требований унификации. Отдельные элементы и ТС интегрированного комплекса безопасности ХОО должны использоваться системами охраны периметра, объектовой охраны, видеонаблюдения и всеми другими ее структурами.

Предложенная система, в комплексе с имеющимися, обеспечит решение задач безопасности обслуживающего персонала, населения, проживающего в районах расположения ХОО и окружающей природной среды на более качественном уровне. Своевременное и правильное решение на проведение эвакуационных и ликвидационных мероприятий позволит сократить количество жертв среди обслуживающего персонала ХОО и населения, проживающего в районах его расположения.

Библиографические ссылки

1. Клименко А. В. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы. Книга 1 : справочник / под общ. ред. А. В. Клименко. М., 2000. 528 с.

2. Кровавые цифры: статистика терактов в Европе и России [Электронный ресурс]: официальный сайт телеканала «Мир 24». URL: <http://mir24.tv/news/society/14115656>. Загл. с экрана.

3. Аварии, связанные с утечкой химических веществ в России в 2010–2013 гг. [Электронный ресурс]: официальный сайт «РИА новости». URL: <http://ria.ru/spravka/20130208/921959865.html>. Загл. с экрана.

4. ПБ 09-170-97: Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.

5. Там же.

6. Еникеева К. Р. К вопросу об оценке риска аварий на опасных производственных объектах // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2007. Вып. 4. С. 255–261.

7. Там же.

8. Костенко К. В. Модели и алгоритмы локализации и классификации нарушителей в системах охраны периметра предприятия на основе данных сейсмических датчиков : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.01 : защищена 25.12.2013 / Костенко Константин Владимирович. М., 2013. 150 с.

9. Костенко К. В. Система охраны периметра предприятия на основе сейсмических датчиков // Перспективы развития информационных технологий : сборник материалов XV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. С. С. Чернова. Новосибирск : ЦРНС, 2013. С. 7–12.

10. ГОСТ 22.0.07–97/ГОСТ Р 22.0.07–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров. Дата введения 1 января 1997 г. М. : Изд-во стандартов, 1995. 25 с.

11. Там же.

12. Там же.

13. Там же.

14. Пат. 2346302 Российская Федерация, G 01 N 35/00. Способ экологического мониторинга химически опасных объектов / Цапок М. В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ижевский государственный технический университет. – № 2007129873; заявл. 03.08.07; опубл. 10.02.09.

15. Там же.

16. Еникеева К. Р. К вопросу об оценке риска аварий на опасных производственных объектах // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2007. Вып. 4. С. 255–261.

17. Габричидзе Т. Г. Основы комплексной системы безопасности критически важных (потенциально опасных) объектов муниципального и регионального уровней. Самара : Изд-во СамНЦ РАН, 2012. 390 с.

References

1. Klimentko A.V. *Teploenergetika i teplotekhnika. Obshchie voprosy. Kniga 1 : spravochnik* [Heat power

engineering and heat engineering. General issues. Book 1: Handbook]. Moscow, 2000. 528 p. (in Russ.).

2. *Krovavye tsifry: statistika teraktov v Evrope i Rossii* [Bloody figures: the statistics of terrorist attacks in Europe and Russia] (in Russ.). Available at: <http://mir24.tv/news/society/14115656>.

3. *Avarii, svyazannye s utechkoi khimicheskikh veshchestv v Rossii v 2010–2013 gg.* [Accidents involving the leakage of chemicals in Russia in 2010–2013] (in Russ.). Available at: <http://ria.ru/spravka/20130208/921959865.html>.

4. *Obshchie pravila vzryvobezопасности dlya vzryvopozharоопасnykh khimicheskikh, neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv*, PB 09-170-97 (General rules of explosion safety for explosive chemical, petrochemical and oil refining industries) (in Russ.).

5. Ibid.

6. Enikeeva K.R. *K voprosu ob otsenke riska avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh* [On the issue of risk assessment of accidents at hazardous production facilities]. *Prinyatie reshenii v usloviyakh neopredelennosti* [Proc. Decision making under uncertainty]. Ufa, UGATU, 2007, vol. 4, pp. 255–236 (in Russ.).

7. Ibid.

8. Kostenko K.V. *Modeli i algoritmy lokalizatsii i klassifikatsii na-rushitelei v sistemakh okhrany perimetra predpriyatiya na osnove dannykh seismicheskikh datchikov* [Models and algorithms for localization and classification of intruders in the enterprise perimeter security systems based on seismic sensor data]: PhD thesis. Moscow, 2013, 150 p. (in Russ.).

9. Kostenko K.V. *Sistema okhrany perimetra predpriyatiya na osnove seismicheskikh datchikov* [Enterprise perimeter security system based on seismic sensors]. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologii : sbornik materialov XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Prospects for the development of information technology: a collection of materials of the XV International Scientific and Practical Conference] (eds. S. S. Chernov). Novosibirsk, TsRNS, 2013, pp. 7-12 (in Russ.).

10. *Bezопасnost' v chrezvychainykh situatsiyakh. Istochniki tekhnogennykh chrezvychainykh situatsii. Klassifikatsiya i nomenklatura porazhayushchikh faktorov i ikh parametrov*, GOST 22.0.07–97, GOST R 22.0.07–95 [Safety in emergency situations. Sources of man-made emergencies. Classification and nomenclature of damaging factors and their parameters] (in Russ.).

11. Ibid.

12. Ibid.

13. Ibid.

14. Tsapok M.V. *Sposob ekologicheskogo monitoringa khimicheskii opasnykh ob"ektov* [The method of environmental monitoring of chemically hazardous objects]. Patent RF, no. 2346302, G 01 N 35/00 (in Russ.).

15. Ibid.

16. Enikeeva K.R. *K voprosu ob otsenke riska avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh* [On the issue of risk assessment of accidents at hazardous production facilities]. *Prinyatie reshenii v usloviyakh neopredelen-*

nosti [Proc. Decision making under uncertainty]. Ufa, UGATU, 2007, vol. 4, pp. 255-236 (in Russ.).

17. Gabrichidze T.G. *Osnovy kompleksnoi sistemy bezopasnosti kriticheski vazhnykh (potentsial'no opasnykh) ob"ektov munitsipal'nogo i regional'nogo*

urovnei [Fundamentals of an integrated security system of critically important (potentially hazardous) facilities at the municipal and regional levels]. Samara, Izd-vo SamNTs RAN, 2012, 390 p. (in Russ.).

Detection of Instantaneous Releases of Dangerous Chemical Substances at Off-Design Accidents with Explosion

V. A. Alekseev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

M. V. Tsapok, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

V. A. Tsapok, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The paper considers the variant of solving the problem of detection of single instantaneous releases of dangerous chemical substances at off-design accidents at the objects intended for storing different chemical substances, such as chlorine, ammonia, petrochemical products, etc.

It is assumed that the accident is accompanied by the explosion initiated by the accident at production, natural disaster or terrorist attack. The integrated safety complex of chemically dangerous objects is proposed to solve the problem. The structure of the automated system of decision support during emergency recovery at a chemically dangerous object is given. The list of parameters of emergency process with explosion, which are applied to forecast the situation at the object, is defined.

The technique for defining the explosion coordinates based on the correlation of a number of parameters of emergency process is considered. The algorithm of defining the coordinates of instantaneous release of chemically dangerous substances is given. When calculating the source coordinates, it is proposed to install three automatic observation stations to register the seismic wave parameters and changes in the concentration of dangerous substances in the atmosphere.

Timely decision on taking recovery measures will allow decreasing the number of possible victims among the personnel of the chemically dangerous object and population living in the regions of its location.

Keywords: accident, explosion, instantaneous release, dangerous substances, safety complex, decision making, automation, algorithm.

Получено 27.09.18