

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

## К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

**И.А. Кизунов;**

**Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**С.Г. Ивахнюк, кандидат технических наук.  
Экспертно-криминалистический центр ГУ МВД России  
по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области**

Представлены результаты научно-исследовательской работы по анализу состояния проблемы идентификации взрывчатых материалов на объектах транспортной инфраструктуры, а также описаны некоторые предложения по решению данной проблемы.

*Ключевые слова:* транспортная система, взрывчатые материалы, опасные грузы, чрезвычайные ситуации, идентификация

## TO THE ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF PROCEDURE OF IDENTIFICATION OF EXPLOSIVE MATERIALS TRANSPORT INFRASTRUCTURE

I.A. Kizunov; G.K. Ivakhnyuk.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

S.G. Ivakhnyuk. Forensic Science Center Headquarters Ministry of Internal Affairs of Russian Federation (Saint-Petersburg and Leningradskaya distr)

The paper presents results of research on the analysis of the problem of identification of explosives on the transport infrastructure, and describes some of the proposals to address the problem.

*Keywords:* transport system, explosive materials, dangerous goods, emergency, identification

На сегодняшний день доля опасных грузов составляет почти половину мирового грузооборота и этот показатель ежегодно растет. Перевозки опасных грузов сопряжены с повышенной вероятностью возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), поскольку опасные грузы характеризуются высокими значениями различных показателей опасности. В объеме грузов, перевозимых в России всеми видами транспорта, доля опасных грузов составляет порядка 20 % или примерно 800 млн т. Из них 65 % приходится на долю автомобильного транспорта, около 30 % – на долю железнодорожного транспорта, примерно 5 % – на долю речного и морского транспорта и около 0,1 % – на долю авиации [1].

Одним из ключевых факторов, характеризующих состояние современной транспортной инфраструктуры, является количество ЧС, произошедших в различных подсистемах транспортной системы. Также огромную роль играет количество погибших и пострадавших вследствие этих ЧС. В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа ЧС за период 2012–2014 гг. по различным критериям. Показатели за год представляют собой сумму показателей за временной промежуток в пределах данного года. Данные были заимствованы из официальных отчетов МЧС России за различные периоды времени, размещённых на официальном сайте [2].

Таблица 1. Сравнительный анализ ЧС, связанных с транспортной системой за период 2012–2014 гг.

Тип чрезвычайной ситуации	Количество ЧС	Количество погибших	Количество пострадавших
Аварии, крушения грузовых и пассажирских поездов	52	559	1811
Аварии грузовых и пассажирских судов	13	33	117
Авиационные катастрофы	109	317	453
Крупные террористические акты	13	83	398
Взрывы в зданиях, на коммуникациях, технологическом оборудовании промышленных и с/х объектов	15	64	204
Аварии на автомобильном транспорте с тяжкими последствиями	271	1179	2872

Из табл. 1 можно сделать вывод, что хотя количество ЧС, причиной которых явились террористические акты, невелико, количество погибших и пострадавших составляет довольно большую часть. На рис. 1 представлен сравнительный анализ количества погибших от различных ЧС за период 2012–2014 гг.

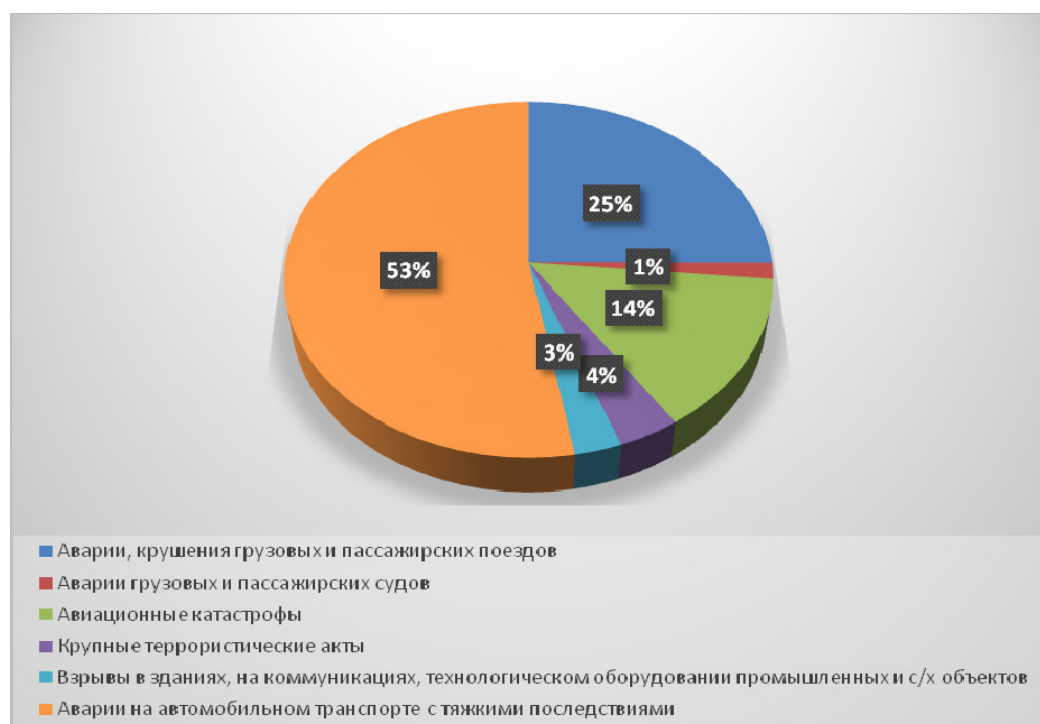


Рис. 1. Сравнительный анализ количества погибших от различных ЧС за период 2012–2014 гг.

Основным проблемным вопросом в области перевозок опасных грузов является снижение их аварийности. Россия по этому показателю находится на уровне других экономически развитых государств, однако ситуация во многом осложняется тем, что значительное количество транспорта с опасными грузами постоянно находится в непосредственной близости от промышленных предприятий и жилых массивов, что создает повышенную угрозу возникновения ЧС с особо тяжелыми последствиями. В современном мире в целях снижения рисков техногенных катастроф при перевозке опасных грузов на всех уровнях проводятся исследования в части совершенствования условий таких перевозок. Большое значение здесь имеют Рекомендации по перевозке опасных грузов – Типовые правила, разработанные профильным комитетом экспертов Организации Объединенных Наций (ООН). Законодательство России в этой области пока существенно отличается от международного законодательства и, в частности, стран Евросоюза. На рис. 2 представлен сравнительный анализ количества ЧС за период 2012–2014 гг.



Рис. 2. Сравнительный анализ количества ЧС за период 2012–2014 гг.

После трагических событий 11 сентября 2001 г. общество столкнулось с новой проблемой – борьба с терроризмом и предотвращение террористических актов с использованием транспортных средств. Именно объекты транспортной инфраструктуры послужили основным инструментом нападений. Транспорт, предназначенный для перевозки опасных грузов, или важнейшие элементы транспортной системы могут использоваться либо как инструмент, либо как цель возможных террористических актов.

Для эффективного предотвращения актов терроризма в нормативных правовых актах, регулирующих порядок перевозки опасных грузов, вносятся повышенные требования к обеспечению безопасности. Международное законодательство в области транспортировки опасных грузов основывается на рекомендациях по перевозке опасных грузов для всех видов транспорта Комитета экспертов по перевозке опасных грузов Экономического и социального совета ООН. Этот Комитет разрабатывает Рекомендации по перевозке опасных грузов в форме Типовых правил перевозки опасных грузов, которые еще называют «оранжевой книгой» и которые ежегодно пересматриваются. При этом Типовые правила являются рекомендационным документом [1].

В Российской Федерации запрещено свободное распространение взрывчатых веществ (ВВ), различных средств взрывания, порохов, ракетного топлива, а также специальных материалов и специального оборудования для их производства, нормативной документации на их производство и эксплуатацию. Одним из ключевых методов профилактики правонарушений в сфере обращения взрывоопасных материалов является выявление каналов поступлений ВВ и их компонентов вплоть до завода-изготовителя. Данная задача с легкостью реализуется путем маркировки ВВ и их компонентов на стадии промышленного производства. Подобная проблема идентификации материалов относится, помимо ВВ, также и к другим материалам, если требуется определить откуда поступили эти некачественные продукты или где были произведены продукты, подозреваемые в их незаконном приобретении (хищении). Это могут быть, например, разнообразные строительные материалы типа цементных смесей и др.

В результате взрыва не весь объем заряда ВВ вступает в химическую реакцию, однако количество таких частиц, которые могут быть в дальнейшем идентифицированы, чрезвычайно мало. К тому же эти микроколичества ВВ могут быть уничтожены, к примеру, дождем или снегом, и основным фактором для их успешной идентификации становится незамедлительное изъятие для проведения исследований в лабораторных условиях. Однако данное условие не всегда достижимо при работе следственных органов в силу объективных причин. Но даже в тех случаях, когда удается обнаружить остатки неразложившегося ВВ, речь идет лишь об идентификации типа ВВ.

В настоящее время определение завода-изготовителя, номера партии и даты изготовления ВВ в качестве первичной значимой информации о возможных каналах поступления взрывоопасных материалов в криминальный оборот в подавляющем большинстве случаев возможно только при поступлении зарядов ВВ в неразрушенном состоянии, например, при наличии символьных маркировочных обозначений непосредственно на шашке ВВ или на элементах штатной промышленной упаковки (оболочки).

Предлагаемая методика маркировки выводит область идентификации ВВ на принципиально новый уровень, предоставляя возможность идентификации продуктов взрывных превращений простыми полевыми способами. Более того, появляется возможность точно установить производителя ВВ и их компонентов, что существенно упростит работу следственных органов. В свою очередь, факт отсутствия маркирующих веществ может указывать на возможность изготовления исследуемого вещества самодельным способом.

В настоящее время идентификация ВВ проводится при использовании различных методов анализа.

1. Тонкослойная хроматография является одним из основных способов идентификации ВВ. В силу же дешевизны, экспрессности, доступности оборудования (возможно применение практически в полевых условиях), чаще всего, применяется тонкослойная хроматография. Это вариант хроматографии, основанный на различии в скорости перемещения компонентов смеси в плоском тонком слое (толщина 0,1–0,5 мм) сорбента при их движении в потоке подвижной фазы (элюента). Последней, преимущественно, является бензол или смеси на его основе. Для проявления разделенных пятен дифениламина и его нитрозо и нитропроизводных используют, как правило, спиртовой раствор фосфорномолибденовой кислоты, а для проявления пятен нитроароматических и нитраминных ВВ – метанольно-ацетоновый раствор дифениламина. В качестве сорбентов используют мелкозернистые силикагель,  $Al_2O_3$ , целлюлозу, крахмал, полиамид, иониты и др. Суспензиями этих сорбентов покрывают пластинки из стекла, фольги или пластика; для закрепления слоя применяют крахмал, гипс или другие связующие. Элюентами служат обычно смеси органических растворителей, водных растворов кислот, солей, комплексообразующих и других веществ. В зависимости от выбора хроматографической системы (состава подвижной и неподвижной фаз) в разделении веществ основную роль могут играть процессы адсорбции, экстракции, ионного обмена, комплексообразования.

На практике часто реализуются одновременно несколько механизмов разделения. Для разделения ВВ методом тонкослойной хроматографии, в большинстве случаев, пользуются стеклянными пластинками с закрепленным слоем силикагеля. Промышленностью выпускаются готовые пластинки с уже закрепленным слоем сорбента.

2. Флуоресцентный метод, заключающийся в изучении спектра образованных под действием энергии от внешнего или внутреннего источника возбужденных состояний атомов, молекул, кристаллов и последующем испускании ими квантов света – фотонов. Недостаток данного метода заключается в проведении обязательного анализа проб сравнения, представляющих собой чистый объект-носитель, отобранный в стороне от подозрительного участка.

3. Инфракрасная спектроскопия, основанная на следующем принципе: возбуждения атомов и атомных групп, составляющих молекулу, вызывают их колебания. Колебательные спектры обладают высокой специфичностью и широко используются для идентификации веществ.

4. Газовая хроматография, основанная на распределении вещества между двумя фазами, одна из которых является неподвижной, а другая подвижной – газ (пар) продвигается сквозь неподвижную фазу током газа-носителя. Если неподвижная фаза представляет собой жидкое вещество, то такой вариант анализа называют газожидкостной хроматографией.

5. Хромато-масс-спектрометрия, являющаяся гибридным методом анализа, по этой причине должен рассматриваться как сочетание хроматографии (газовой или жидкостной) и масс-спектрометрии. Процессы разделения и анализа здесь протекают совершенно независимо друг от друга [3].

Однако применение существующих и развивающихся методов идентификации в отношении сдетонировавших зарядов ВВ характеризуется в первую очередь высоким уровнем сложности пробоподготовки, поскольку многие компоненты ВВ подвержены термической деструкции в ходе взрывных превращений. Существующие методы обнаружения и идентификации ВВ (их состава и места их изготовления) требуют для обнаружения наличия сложной дорогостоящей специальной аппаратуры, специальных стационарных лабораторных условий для проведения такого анализа, высококвалифицированного специалиста, обеспечивающего работу специальной аппаратуры. Используемые в настоящее время способы для обнаружения и идентификации ВВ (его состава и места его изготовления) не обеспечивают достаточную информативность о характеристиках самого ВВ и месте его изготовления, необходимых для проведения оперативно-розыскных мероприятий и следственных действий, а также для выявления каналов поступления взрывоопасных веществ в криминальный оборот.

Но именно на решение вопросов противодействия использованию пластичных ВВ (ПВВ) в террористических целях направлена разработанная международной организацией гражданской авиации (ИКАО) по поручению Совета Безопасности ООН международная Конвенция по маркировке ПВВ в целях их обнаружения, которая вступила в силу 21 июня 1998 года. Конвенция от имени Союза Советских Социалистических Республик подписана в г. Монреале 1 марта 1991 г. В настоящее время ее ратифицировали 115 государств, включая всех партнеров России по «Группе восьми», и по поручению Президента она должна быть ратифицирована в ближайшее время в Российской Федерации. В роли маркирующего элемента Конвенцией предложено использовать одно из четырех химических веществ: орто-мононитротолуол, пара-мононитротолуол, этиленгликольдинитрат, 2,3-диметил-2,3-динитробутан. Данные маркирующие элементы, добавленные в рецептуру ПВВ или эластичные ВВ (ЭВВ) на стадии производства в небольшом количестве, позволяют обнаруживать ВВ даже при их тщательной упаковке [4].

ВВ (пластичные и эластичные) являются смесью кристаллического ВВ пентаэритриттетранитрата или гексогена, или октогена со связующим компонентом (желатин, смола, каучук и т.п.). В промышленности существуют два способа производства

ПВВ и ЭВВ – смешение компонентов в смесителе механическим способом и смешение компонентов водно-суспензионным способом. Эти способы существенно отличаются перечнем используемого оборудования и технологическим процессом. Для изготовления пластичных ВВ обычно используют способ механического смешения компонентов. Способом водно-суспензионного смешения компонентов пользуются для изготовления и обоих видов ВВ.

В качестве маркирующего вещества впервые предлагается использовать различные соли, катионы металлов которых способны образовывать карбиды в процессе взрывных превращений.

Основным вопросом разработки технологии приготовления маркированных составов является выбор стадии их изготовления, на которой следует вводить маркирующее соединение. Для этого было изучено влияние различных технологических факторов на потери маркирующих добавок. Установлено, что основное влияние на потери маркеров при приготовлении составов оказывают температурный и временной факторы, то есть температура проведения технологического процесса и время пребывания маркера при повышенной температуре.

Очевидно, что наиболее равномерное распределение маркирующего соединения в составах можно ожидать при введении его на стадии приготовления раствора связующего в водно-суспензионной технологии и на стадии приготовления пластификатора в технологии механического смешения при условии хорошей растворимости маркеров в указанных жидких средах. Кроме того, влияние температурного фактора на потери маркеров оказалось очень существенным, особенно в дозаторах соотношений при непрерывной схеме приготовления составов механическим смешением компонентов, в которых температура достигает 200 °С. После проведения большого количества экспериментов был сделан выбор технологических стадий, на которых наиболее целесообразно вводить маркирующие добавки. Для водно-суспензионной технологии это стадия гомогенизации составов ПВВ и ЭВВ, а для технологии механического смешения – стадия дозировки сыпучей смеси компонентов. При этом технологические потери маркеров при изготовлении составов по обеим технологиям не превышают 40 %.

Разработанные технологии введения маркеров были отработаны в опытно-промышленных производствах ФГУП «ГосНИИ «Кристалл» и ФГУП «КНИИМ». По результатам отработок выпущены изменения к технологическим регламентам приготовления составов. С целью допуска маркированных составов ПВВ и ЭВВ к применению по прямому назначению проведена разработка и корректировка технических условий на маркированные составы [5].

Проанализировав множество современных литературных источников, был собран материал об основных параметрах взрыва наиболее распространенных ВВ. Результаты представлены на табл. 2. Сравнительный анализ технологических условий образования карбидов с параметрами взрыва представлен на рис. 3.

Таблица 2. Параметры взрыва основных ВВ

Наименование ВВ	Скорость детонации м/сек.	Теплота взрыва, ккал/кг	Температура продуктов взрыва, С	Объем продукта взрыва, л/кг	Бризантность по Гессу, мм	Работоспособность по Трауцлю, см <sup>3</sup>
<b>Иницирующие взрывчатые вещества</b>						
Гремучая ртуть	4800	410	4300	315	–	–
Азид свинца	4800	380	4080	310	–	–
Тенерес	1600	410	2800	440	–	–

Наименование ВВ	Скорость детонации м/сек.	Теплота взрыва, ккал/кг	Температура продуктов взрыва, С	Объем продукта взрыва, л/кг	Бризантность по Гессу, мм	Работоспособность по Трауцлю, см <sup>3</sup>
<b>Бризантные ВВ повышенной мощности</b>						
Тэн	8400	1410	1410	780	24	500
Гексоген	8380	1390	3850	900	24	490
Тетрил	7700	1095	3915	750	18-20	390
<b>Бризантные ВВ нормальной мощности</b>						
Тротил	6900	1000	3050	750	16	235
Пикриновая кислота	7200	1030	3520	685	18	330
Динамит 62 %	6000	1210	4040	630	16	350
<b>Бризантные ВВ пониженной мощности</b>						
Аммонит 80.20	5000	950	2500	860	10-12	350
Динамоны	2500–4500	720–890	1940–2750	900–950	12–14	320–350
Аммонал	5030	1000	2440	800	16	350

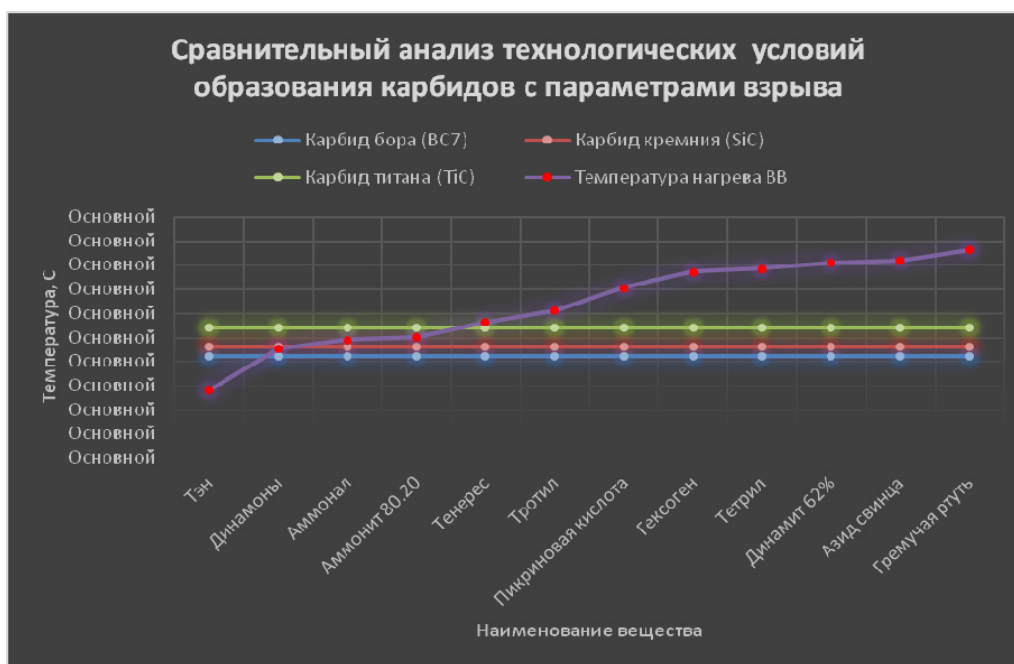


Рис. 3. Сравнительный анализ технологических условий образования карбидов с параметрами взрыва

Идентификация карбидных компонентов будет осуществлена методом рентгенофазового анализа. Наряду с высокой точностью, простотой пробоподготовки и высокой чувствительностью, он предоставляет возможности для проведения идентификации в полевых условиях посредством мобильных рентгенофазовых анализаторов, получивших в последнее время широкое распространение.

К достоинствам рентгенофазового анализа также должна быть отнесена высокая достоверность метода, а также то, что метод прямой, то есть дает сведения непосредственно о структуре вещества, а анализ проводят без разрушения исследуемого образца.

Под чувствительностью метода рентгенофазового анализа понимается минимальное количество фазы в смеси, дающее достаточное для надежного определения ее число линий измеримой интенсивности. Чувствительность для различных фаз колеблется в широких пределах – от десятых долей процента до нескольких весовых процентов (общая чувствительность 1–2 %). Величина ее зависит от многих факторов. В частности, она тем больше, чем выше отражательная способность ее атомных плоскостей в кристалле, чем слабее фон на рентгенограмме и чем меньше коэффициент поглощения определяемой фазы. Вещества, сильно поглощающие лучи, лучше обнаруживаются в слабо поглощающих смесях, и, наоборот, вещества, слабо поглощающие лучи (содержащие легкие элементы), в смеси с веществами, сильно поглощающими, обнаруживаются лишь при значительном их содержании.

Различные фазы в кристаллах обладают не только разными свойствами, но и разной кристаллической структурой. От каждой фазы на рентгенограмме возникает свой набор интерференционных линий. Относительные интенсивности и определенные по рентгенограмме межплоскостные расстояния называют рентгеновской характеристикой вещества. Самые сильные линии данного вещества называют реперными. По таким линиям обычно и выявляют фазы. Рентгенограммы многофазной системы представляют собой результат наложения рентгенограмм отдельных фаз, интенсивности которых пропорциональны количеству фазы в системе.

Чувствительность метода также зависит от наличия структурных искажений и дефектов в кристалле и от размера кристаллитов. Эти факторы могут приводить к уширению интерференционных максимумов и, следовательно, к снижению чувствительности метода, поскольку размытые линии выявлять труднее, чем резкие. Чувствительность рентгеновского метода может быть повышена улучшением техники рентгеновской съемки и соответствующей подготовкой исследуемых образцов. Применение монохроматоров уменьшает общий фон рентгенограммы, благодаря чему выявляются слабые линии [6].

Проецируя все вышеперечисленные факторы на идентификацию карбидных компонентов в составе продуктов взрывных превращений, можно сделать вывод о количестве маркирующих добавок, необходимом для целей проведения качественного рентгенофазового анализа. Используя метод аппроксимации, вполне обоснованно будет предположить, что содержание маркирующих добавок в количестве 0,1 весовых процента достаточно для проведения идентификации с очень высокой точностью.

Итак, главной проблемой при образовании карбидов являются высокие температуры синтеза. В процессе взрывных превращений реагирующие вещества достигают температур в несколько тысяч градусов по Цельсию, что активно способствует образованию карбидов. Также на свойства материалов влияет среда, в которой происходит процесс [7]. Обоснована техническая, экономическая и практическая актуальность данной методики маркировки. Наряду с высокой точностью, она обеспечивает возможность обнаружения производителя и каналов поступления веществ в криминальный оборот, что существенно упрощает работу следственных органов. Представленная методика идентификации не требует значительных усилий при проведении пробоподготовки и обладает довольно высокой скоростью проведения анализа. Ключевой особенностью является возможность идентификации веществ после взрывных превращений, что качественно выделяет данную методику среди уже существующих. Учитывая современные тенденции развития науки и техники, можно высоко оценить перспективы ее развития.

## **Литература**

1. Соколов Ю.И. Вопросы безопасности транспортировки опасных грузов // Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6. № 1.
2. МЧС России. URL: <http://www.mchs.gov.ru/activities/stats> (дата обращения: 20.09.2016).



3. Reich E., Widmer V. Thin Layer Chromatography // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley, 2012.
4. Конвенция о маркировке пластических взрывчатых веществ в целях их обнаружения. Монреаль, 1991.
5. Разработка процессов получения маркеров и обработка процессов маркировки пластичных и эластичных ВВ: отчет об ОКР. М.: Мин-во пром. и энергет. РФ; ФГУП «ГосНИИ «Кристалл».
6. Васильев Е.К. Качественный рентгенофазовый анализ / под ред. С.Б. Брандта. Новосибирск: Наука, 1986. 195 с.
7. Лебедев А.Ю., Собкалов А.В., Ивахнюк Г.К. Склонность горючих материалов к самовозгоранию. Эколого-криминалистический аспект // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 10. С. 11–18.

### References

1. Sokolov Yu.I. Voprosy bezopasnosti transportirovki opasnyh грузов // Problemy analiza riska. 2009. Tom 6. № 1.
2. MCHS Rossii. URL: <http://www.mchs.gov.ru/activities/stats>.
3. Reich E., Widmer V. Thin Layer Chromatography // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley, 2012.
4. Konvenciya o markirovke plasticheskikh vzryvchatyh veshchestv v celyah ih obnaruzheniya. Monreal', 1991.
5. Razrabotka processov polucheniya markerov i otrabotka processov markirovki plastichnyh i ehlastichnyh VV: Otchet ob OKR (zaklyuch.). M.: Min-vo prom. i ehnerget. RF; FGUP «GosNII «Kristall».
6. Vasil'ev E.K. Kachestvennyj rentgenofazovyj analiz / pod red. S.B. Brandta. Novosibirsk: Nauka, 1986. 195 s.
7. Lebedev A.Yu., Sobkalov A.V., Ivahnyuk G.K. Sklonnost' goryuchih materialov k samovozgoraniyu. EHkologo-kriminalisticheskij aspekt // Pozharovzryvobezopasnost'. 2011. Т. 20. № 10. С. 11–18.