

Научная статья  
УДК 614.833  
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.14.72.019

## Практический анализ взрывной аварии с паровоздушной смесью сложных углеводородов

**Алексей Павлович Шевченко**

*Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия*

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0008-0601-5058>

*Автор, ответственный за переписку: Алексей Павлович Шевченко, z4sbudavr@mail.ru*

**Аннотация.** Целью статьи является определение сценария развития взрывной аварии на производственном объекте, в технологическом процессе которого используется теплоноситель, являющийся смесью сложных углеводородов. Для определения типа и формирования физико-химической картины взрывной аварии были использованы аналитический и сравнительный методы. Основными материалами для исследования стали: описание повреждений здания, обнаруженные вещества и фотографии с места происшествия, а также видеозапись взрыва и свидетельства очевидцев. Информационной основой исследования послужила реальная чрезвычайная ситуация, сопровождавшаяся взрывом на ООО «Шахтинский полиэфирный завод» г. Шахты. В результате исследования были определены: сценарий развития взрывной аварии; тип взрывного превращения; проанализирован физико-химический процесс образования взрывоопасной паровоздушной смеси; рассмотрен способ снижения давления взрыва на данном объекте. Установлено, что авария вызвана разгерметизацией трубопровода с динилом при температуре выше температуры вспышки, а инициатором послужили искры электрооборудования. Результаты, полученные в ходе анализа взрывной аварии, необходимы для проведения экспертизы чрезвычайных ситуаций, связанных с производственными взрывами, а также для совершенствования систем взрывозащиты и повышения уровня промышленной безопасности на подобных объектах.

**Ключевые слова:** сценарий взрыва, дефлаграционный взрыв, взрывоопасная паровоздушная смесь, терминология, динил

**Для цитирования:** Шевченко А.П. Практический анализ взрывной аварии с паровоздушной смесью сложных углеводородов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 227-236. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.14.72.019>.

**Благодарности:** Автор выражает искреннюю признательность Главному управлению МЧС России по Ростовской области за предоставленные материалы и содействие в проведении исследования. Особая благодарность научному руководителю, доктору технических наук, профессору Александру Андреевичу Комарову за ценные рекомендации, профессиональную поддержку и неоценимый вклад в подготовку настоящей работы.

Original article.

## Practical analysis of the explosive accident of a vapor-air mixture of complex hydrocarbons

**Alexey P. Shevchenko**

*Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia*

**Corresponding author:** Nikolay A. Safronov, [nikolaysafronov98@yandex.ru](mailto:nikolaysafronov98@yandex.ru)

**Abstract.** The purpose of the article is to determine the scenario of an explosive accident at a production facility, in the technological process of which a coolant is used, which is a mixture of complex hydrocarbons. Analytical and comparative methods were used to determine the type and form the physico-chemical picture of an explosive accident. The main materials for the study were: a description of the damage to the building, discovered substances and photographs from the scene, as well as a video recording of the explosion and eyewitness accounts. The information basis of the study was a real emergency situation, accompanied by an explosion at the Shakhty Polyester Plant LLC in Shakhty. As a result of the study, the following were determined: the scenario of an explosive accident; the type of explosive transformation; the physico-chemical process of formation of an explosive vapor-air mixture was analyzed; a method for reducing the explosion pressure at this facility was considered. It was established that the accident was caused by the depressurization of the dinyl pipeline at a temperature above the flash point, and the initiator was the spark of electrical equipment. The results obtained during the analysis of an explosive accident are necessary for conducting an expert examination of emergencies related to industrial explosions, as well as for improving explosion protection systems and increasing the level of industrial safety at such facilities.

**Keywords:** explosion scenario, deflagration explosion, explosive vapor-air mixture, terminol, dinil

**For citation:** Shevchenko A.P. Practical analysis of the explosive accident of a vapor-air mixture of complex hydrocarbons // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2025. № 4 (39). С. 227-236. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.14.72.019>.

**Acknowledgements:** The author expresses his sincere gratitude to the Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Rostov region for the materials provided and assistance in conducting the study. Special thanks to the scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor Alexander Andreevich Komarov for valuable recommendations, professional support and invaluable contribution to the preparation of this work.

Реальные взрывы на производстве показывают, что в промышленности используются технические жидкости, которые при определенных условиях могут образовывать взрывоопасные паровоздушные смеси. Однако этот факт не всегда учитывается при планировании возможных сценариев развития аварий, так как степень взрывоопасности некоторых технических жидкостей в разных состояниях остается неизвестной.

В ходе определения сценариев взрывных аварий, экспертам в области взрывобезопасности приходится сталкиваться с некоторыми проблемами. Как правило, у молодых специалистов не хватает опыта и практического материала для проведения экспертизы аварий подобного типа, связанных с дефлаграционными взрывами. Для решения подобных задач, при определении сценариев взрывных аварий, необходима подготовка соответствующих материалов. В настоящей работе определен сценарий развития аварии, который может являться опорным материалом для экспертизы аварий, связанных со взрывами паровоздушных смесей на объектах, использующих в своем производстве смеси сложных углеводородов. Опираясь на [1-4], последовательно определяем основные факторы аварии со взрывом.

В [5] кратко описан тип данной аварии и сравнивается с другими взрывами, но для специалистов в области взрывобезопасности необходим подробный анализ сценария

и восстановления физико-химической картины взрыва, здесь четко необходимо разделять детонационный и дефлаграционный взрывные процессы.

Дефлаграционный взрыв (Рис.1) – характеризуется дозвуковой скоростью распространения пламени. Фронт пламени является проницаемым поршнем, создающим при своем движении впереди себя волну сжатия, избыточное давление в которой увеличивается от фронта волны к фронту пламени. Фронт волны сжатия распространяется со скоростью звука [6].

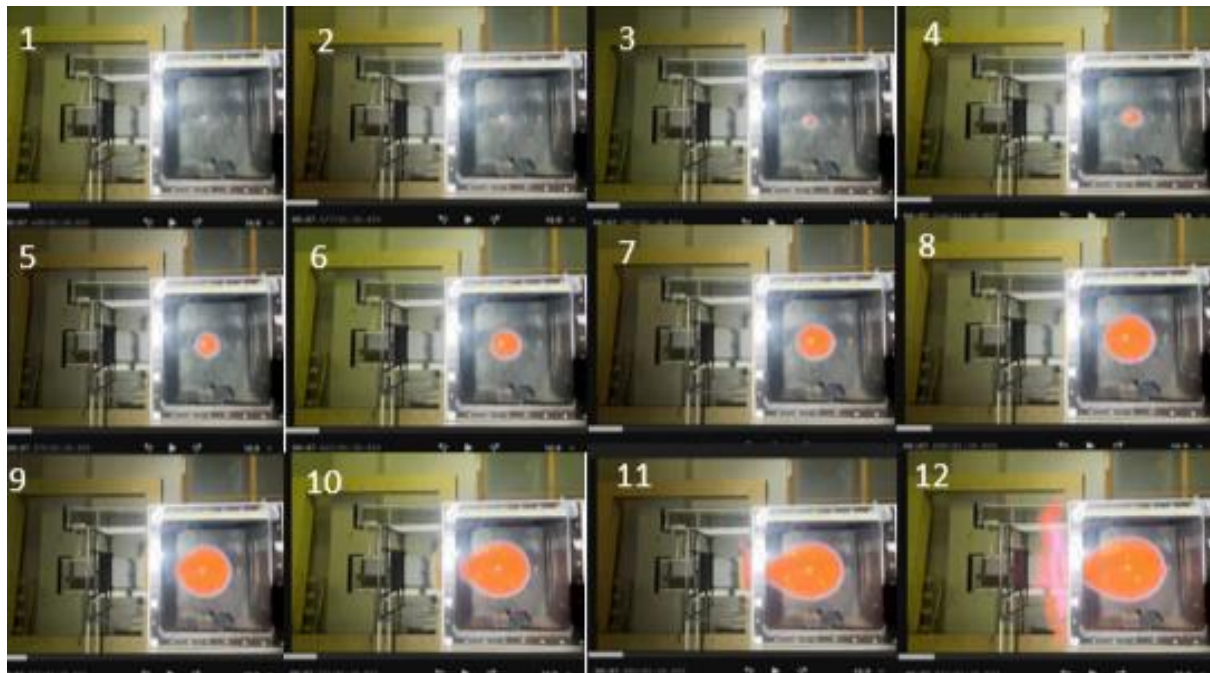


Рис.1. Мгновенное фотографирование модельного внутреннего дефлаграционного взрыва паровоздушной смеси легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), во время эксперимента (Рисунок автора)

1 – исходное состояние; 2 – момент образования искры; 2-8 – момент дефлаграционного взрыва; 9- момент начала вскрытия легкобрасываемой конструкции (ЛСК); 8– момент окончания взрывного горения; 9-12 – турбулентное горение

Видеозапись проводилась во время эксперимента на скорости 240 кадров в секунду.

В свою очередь при детонационном взрыве имеет место сверхзвуковая скоростью пламени, совместное движение ударной волны и химической зоны горения по взрывчатой смеси, создается высокое избыточное давление (1400...2000 кПа) и скоростной напор [6].

## Материалы и методы

### Описание повреждений здания, фотографии и видеоматериалы

В результате взрыва с последующим горением на ООО «Шахтинский полиэфирный завод» поврежден производственный корпус (Рис.2), технологический процесс которого был связан с получением полиэтилентерефталата и полиэфирного штапельного волокна.



Рис.2. Гибридный план производственного объекта (Рисунок автора)

В результате взрыва пострадало 10 человек, конструкции здания получили повреждения (Рис.3).



Рис.3. Общий вид последствий взрыва в производственном корпусе  
ООО «Шахтинский полиэфирный завод» (Фото авторское, источник: МЧС России)

При осмотре цеха формирования установлены следующие физические повреждения:

– Металлические конструкции третьего этажа, находящиеся на расстоянии приблизительно 6–7 м от восточной границы здания, деформированы на длину около 10 м в западную сторону.

– В западной стороне расположены металлические трубы теплоносителя, имеющие разрыв оболочки. На поверхности указанных труб и других повреждённых огнём металлических конструкций образовалась окалина чёрного цвета. Толщина окалины постепенно уменьшается в сторону западных повреждённых огнём участков.

- Металлические конструкции четвёртого этажа в восточной части также деформированы.
- Потолочное покрытие в восточной части третьего этажа, выполненное из металлических профилированных листов, имеют участки расплавления и полного разрушения. Очаги расположены на расстоянии около 2 м к востоку от труб теплоносителя, в зоне помещения (фильерной мастерской).
- На расстоянии около 50 м в восточную сторону обнаружена металлическая обшивка стен (сэндвич-панели) в деформированном состоянии, а также фрагменты остекления.
- Остекление производственного здания полностью разрушено, при этом фрагменты стёкол не закопчены.
- С западной, восточной и южной сторон на земле находятся обрушенные фрагменты стен.
- Фрагменты кровли отсутствуют над восточной частью цеха формования.
- Следов фугасного воздействия (воронок и иных характерных повреждений) не обнаружено.

Анализ повреждений, в результате взрывной аварии, можно провести по аналогии описанной в [7], а причины деформаций конструкций в следствии динамических нагрузок определить по [8].



*Рис.4. Состояние конструкций после аварии на ООО «Шахтинский полиэфирный завод»  
(Фото авторское, источник: МЧС России)*



*Рис.5. Состояние конструкций после аварии на ООО «Шахтинский полиэфирный завод»  
(Фото авторское, источник: МЧС России)*



*Рис.6. Состояние конструкций после аварии на ООО «Шахтинский полиэфирный завод»  
(Фото авторское, источник: МЧС России)*

При покадровом разборе видеосъемки аварии на ООО «Шахтинский полиэфирный завод», взятой из сети Интернет, видно, как легкобрасываемые конструкции успевают сработать и сбросить избыточное давление, образовавшееся внутри здания.

#### **Обнаружение остатков взорвавшегося вещества**

При прокачке воздуха газоанализатором АНТ-3М в зоне расположения трубопровода теплоносителя была обнаружена концентрация веществ, определяемых прибором, в количестве  $50 \text{ мг/м}^3$ . С поверхности трубы теплоносителя был произведён смыв ватным диском, который изъят с места пожара. В указанной зоне также были обнаружены и изъят с места пожара фрагменты электрических проводников с локальным оплавлением на концах.

### Свидетельства очевидцев

Был слышен хлопок со стороны клапана, теплоноситель бился фонтаном и разливался в разные стороны, сформировалось облако паровоздушной смеси, после чего произошел взрыв. Очевидцы получили ожоги.

В результате взрыва и последующего горения в атмосферу произошел большой выброс продуктов горения (Рис.7). Отметим, что экологическая составляющая данной аварии, не является предметом нашего исследования.



*Рис.7. Выброс продуктов горения в атмосферу. Производственный корпус ООО «Шахтинский полиэфирный завод» (Фото авторское, источник: МЧС России)*

### Результаты исследования

Состояние конструкций (прогибы, оплавление) после аварии (Рис.4-6) указывает на дозвуковую скорость распространения пламени, параметры которой оказывают именно такой эффект, что говорит о признаках дефлаграционного внутреннего взрыва, описанного в работе [5].

Обнаруженные следы взорвавшейся паровоздушной смеси и остатки продуктов горения, а также повреждения здания, свидетельствуют о формировании огненного шара [7], что также характерно для дефлаграционного взрыва при взрыве паровоздушной смеси. Оплавленные концы проводников могут свидетельствовать о том, что источником зажигания могли послужить искры работающего электрооборудования.

Очевидцы свидетельствуют о том, что наблюдали фонтанирование теплоносителя и формирования паровоздушной смеси. Это говорит о высоком давлении в системе, а также о высокой температуре теплоносителя, выше или равной температуре вспышки. Травмы очевидцев говорят о воздействии на них теплового потока, характерному для огненного шара в следствии дефлаграции, описанные в [9]. Также результаты исследования [10] подтверждают, что первичные опасные факторы взрывов паровоздушных смесей оказывают описанные выше повреждения.

В результате анализа обстоятельств аварии установлено, что вероятно основным веществом теплоносителя «Терминол» является динил. Следует отметить, что состав «Терминола» [17] неизвестен. Динил - (дифенильная смесь, даутерм) – эвтектическая смесь ароматических углеводородов дифенила и дифенилового эфира, жидкость светло-коричневого цвета с резким характерным запахом [11]. Испаряется динил азеотропически, то есть с сохранением соотношения компонентов, входящих в состав смеси, ПДК составляет порядка

0,01 мг/м<sup>3</sup> [11]. Динил является наиболее распространённым теплоносителем, используется как агент передачи высокой температуры, охлаждающая жидкость в ядерных реакторах, а также, как химическое промежуточное звено в производстве поверхностно – активных агентов и высокотемпературных смазок [11]. Согласно [12-13] дифенильная смесь на 75% состоит из дифенилоксида. Температура воспламенения дифенилоксида: 115 °С; температура самовоспламенения: 617°С; пределы воспламеняемости: нижний: 0,8 об. %, верхний: 1,5 об.%. Дифенилоксид [18] является горючим твердым веществом и может выделять токсичные пары при горении, а смешанные пары могут быть взрывоопасными.

При идеальном сценарии внутреннего дефлаграционного взрыва внутри помещения будет иметь место стехиометрическая концентрация паровоздушной смеси. Давление при таком горении будет одинаковое во всех точках замкнутого объема, соблюдая принцип квазистатичности. Но так как в нашем случае паровоздушная смесь достигла своей стехиометрической концентрации до заполнения общего объема здания, взрыв произошел в отдельной его части и давление ушло через оконные проемы. Как видно на Рис.2, легкобрасываемые конструкции (ЛСК) выполнили свою функцию и предотвратили обрушения здания. Эффективность применения ЛСК подробно описана в [14-15]. При детонационном взрыве легкобрасываемые конструкции не успевают срабатывать, что приводит к разрушениям более значительным, что говорит о дефлаграционном взрыве рассматриваемой нами аварии.

При внутренних взрывах до 80...85% не сгоревшей смеси выбрасывается из помещения: эта смесь, взрываясь производит большие разрушения остекления зданий [6].

## Выводы

Чтобы провести экспертную оценку и спрогнозировать возможную чрезвычайную ситуацию со взрывом в будущем, необходимо опираться на материалы, которые в полной мере описывают картину взрывной аварии. В данной работе было установлено, что, взрыв произошёл в результате внутреннего дефлаграционного физико-химического превращения. Это стало следствием разгерметизации системы, что привело к утечке теплоносителя и образованию взрывоопасной паровоздушной смеси. В ходе анализа была установлена причина и описан процесс, предшествовавший взрыву.

Также для совершенствования пожаровзрывобезопасности производственных зданий, с задействованными в процессе производства техническими жидкостями (взрывоопасность неизвестна), которые могут находиться под давлением в следствии аварийного режима работы технологического оборудования, рекомендуется предусматривать легкобрасываемые конструкции (ЛСК), даже если в конкретной категории здания по взрывопожарной и пожарной опасности такие конструкции не предусмотрены. Данное решение позволит избежать максимально разрушительных последствий в случае взрыва паровоздушных смесей.

Современные модели анализа причин и развития аварийных ситуаций со взрывами на производственных объектах, такие как REAZON [16] учитывают множество факторов в ходе возникновения взрыва. Однако остаются неизвестными взрывные характеристики технических жидкостей, которые обычно представляют собой сложные смеси углеводородов и возможно являются потенциально взрывоопасными в паровоздушном состоянии, что и показала данная авария.

## Список источников

1. Левченко Е.М. Взрывотехническая экспертиза при расследовании уголовных дел // Вестник научных публикаций. - 2020. - Вып. 12. - С. 127. - DOI: 10.47643/1815-1329\_2020\_12\_127.
2. Левченко Е.М., Корнева А.А. Взрывотехническая экспертиза: предмет, объект и задачи // Вестник научных публикаций. - 2020. - Вып. 12. - С. 127. - DOI: 10.47643/1815-1329\_2020\_12\_127.

3. Матюшенков А.Н. Взрывотехническая экспертиза как источник использования специальных знаний по делам о взрывах // Вестник научных публикаций. - 2020. - Вып. 12. - С. 127. - DOI: 10.47643/1815-1329\_2020\_12\_127.
4. van der Voort M.M. Forensic analysis of explosions: Inverse calculation of the explosive yield // Forensic Science International. - 2015. - Vol. 246. - P. 44-53. - DOI: 10.1016/j.forsciint.2015.07.042.
5. Сравнительный анализ детонационного и дефлаграционного типов взрывного превращения на примере реальных аварийных ситуаций / А. А. Комаров, В. В. Тимохин, А. П. Шевченко, Р. Р. Шангараев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 4. – С. 64-71. – DOI 10.25257/FE.2024.4.64-71. – EDN CCWOGK.
6. Хуснутдинов Д.З., Мишуев А.В., Казенов В.В., Комаров А.А., Громов Н.В. Аварийные взрывы газоздушных смесей в атмосфере: монография/ Д.З. Хуснутдинов [и др.]; М-во образования и науки Росс. Федерации. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: МГСУ, 2014. 80 с.
7. Плотникова Г.В., Кузнецов К.Л. Экспертное исследование причины возникновения взрыва // Вестник Есиирк. URL: <https://vestnikesiirk.ru/temp/79e6fdac54d8f4a777581d50accdd2ed.pdf> (дата обращения: 20.10.2025).
8. Леденёв В. В., Скрылёв В. И. Аварии, разрушения и повреждения: причины, последствия и предупреждения: учебное пособие. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2017. - 128 с. - URL: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2017/ledenev2.pdf> (дата обращения: 21.10.2025).
9. Galante N., Franceschetti L., Del Sordo S., Casali M.B., Genovese U. Explosion-related deaths: An overview on forensic evaluation and implications // Forensic Science, Medicine and Pathology. - 2021. - Vol. 17, № 3. - P. 437–448. - DOI: 10.1007/s12024-021-00383-z.
10. Kaya B. Evaluation of the effects of explosions: A ten-year study // Journal of Forensic and Legal Medicine. - 2025. - P. 1-12. - DOI: 10.1016/j.jflm.2025.103456.
11. Могилевец О.Н. Состояние здоровья работающих с ароматическим углеводородом динилом/ Журнал ГрГМУ 2009 № 4 с.53-56.
12. Чечёткин А. В. Высокотемпературные теплоносители. - М.: Энергия, 1971. - 496 с. - 5000 экз.
13. Химическая энциклопедия / Редкол.: Кнунянц И. Л. и др. - М.: Советская энциклопедия, 1990. - Т. 2 (Даф-Мед). - 671 с. - ISBN 5-82270-035-5.
14. Горев В.А. Влияние легкосбрасываемых конструкций на избыточное давление при взрыве в помещении // Техническая безопасность. - 2022. - № 3. - С. 45–52.
15. Brewerton R., Norris C. Explosion relief panels for hazard reduction in gas compressor buildings and hydrogen refuelling stations // IChemE Hazards XX. - 2020. - URL: <https://www.icheme.org/media/25719/hazards-30-paper-57-brewerton.pdf>. (дата обращения: 21.10.2025).
16. Wang Q., Zhang H., Gao C., Zhang D., Liu M. Analysis of the Causes and Configuration Paths of Explosion Accidents in Chemical Enterprises Based on the REASON Model and fsQCA Method // Sustainability. - 2025. - Vol. 17, no. 13. - Article № 10116. - DOI: 10.3390/su171310116. - URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/13/10116> (дата обращения: 21.10.2025).
17. Паспорт безопасности «Therminol® 66 Heat Transfer Fluid»Номер Паспорта безопасности: 150000093438 SDSRU / RU / 0001. <https://www.therminol.com/>.
18. Паспорт безопасности 1. наименование химического вещества и компании. название продукта: дифенил-оксид Номер MSDS: 000101848 Химическое название: бензол, 1,1'-оксибис Синонимы: Дифениловый эфир, феноксибензол, ДФО, фениловый эфир. <https://alfa-transit.com/wp-content/uploads/2023/08/difenil-oksid-rus.pdf>.

## References

1. Levchenko E.M. Explosive technical expertise in the investigation of criminal cases // Bulletin of scientific publications. - 2020. - Vol. 12. - P. 127. - DOI: 10.47643/1815-1329\_2020\_12\_127.

2. Levchenko E.M., Korneva A.A. Explosive engineering expertise: subject, object and tasks // *Bulletin of scientific publications*. - 2020. - Vol. 12. - P. 127. - DOI: 10.47643/1815-1329\_2020\_12\_127.
3. Matyushenkov A.N. Explosive engineering expertise as a source of using special knowledge in cases of explosions // *Bulletin of scientific publications*. - 2020. - Vol. 12. - P. 127. - DOI: 10.47643/1815-1329\_2020\_12\_127.
4. van der Voort M.M. Forensic analysis of explosions: Inverse calculation of the explosive yield // *Forensic Science International*. - 2015. - Vol. 246. - P. 44-53. - DOI: 10.1016/j.forsciint.2015.07.042.
5. Timokhin, V. V. Features of the physical picture of emergency explosions development in isolated premises / V. V. Timokhin // *Fires and Emergencies: prevention, elimination*. - 2022. - № 2. - С. 60-66. - DOI 10.25257/FE.2022.2.60-66. - EDN BJJXLW.
6. Khusnutdinov D.Z., Mishuev A.V., Kazenov V.V., Komarov A.A., Gromov N.V. Emergency explosions of gas-air mixtures in the atmosphere: a monograph / D.Z. Khusnutdinov [ et al.] ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Federation. Moscow State University of Civil Engineering. Moscow: MSCU, 2014. 80 с.
7. Plotnikova G.V., Kuznetsov K.L. Expert investigation of the cause of the explosion // *Bulletin of the Esiirk*. URL: <https://vestnikesiirk.ru/temp/79e6fdac54d8f4a777581d50accdd2ed.pdf> (accessed: 20.10.2025).
8. Ledenev V.V., Skrylev V. I. Accidents, destruction and damage: causes, consequences and warnings: a textbook. - Tambov: Tambov State Technical University, 2017. - 128 p. - URL: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2017/ledenev2.pdf> (accessed: 21.10.2025).
9. Galante N., Franceschetti L., Del Sordo S., Casali M.B., Genovese U. Explosion-related deaths: An overview on forensic evaluation and implications // *Forensic Science, Medicine and Pathology*. - 2021. - Vol. 17, № 3. - P. 437–448. - DOI: 10.1007/s12024-021-00383-z.
10. Kaya B. Evaluation of the effects of explosions: A ten-year study // *Journal of Forensic and Legal Medicine*. - 2025. - P. 1-12. - DOI: 10.1016/j.jflm.2025.103456.
11. Mogilevets O.N. State of health of workers with aromatic hydrocarbon dinil / *Journal of GrSMU* 2009 № 4 p.53-56.
12. Chechetkin A.V. High-temperature heat carriers. Moscow: Energiya, 1971. 496 p. - 5000 copies.
13. Chemical encyclopedia / Editorial board: Knunyants I. L. et al. - Moscow: Soviet Encyclopedia, 1990. - Vol. 2 (Daf-Med). - 671 p. - ISBN 5-82270-035-5.
14. Gorev V.A. Influence of easily ejectable structures on overpressure during an explosion in a room // *Technical safety*. - 2022. - No. 3. - pp. 45-52.
15. Brewerton R., Norris C. Explosion relief panels for hazard reduction in gas compressor buildings and hydrogen refuelling stations // *ICHEME Hazards XX*. - 2020. - URL: <https://www.icheme.org/media/25719/hazards-30-paper-57-brewerton.pdf>. (accessed: 21.10.2025).
16. Wang Q., Zhang H., Gao C., Zhang D., Liu M. Analysis of the Causes and Configuration Paths of Explosion Accidents in Chemical Enterprises Based on the REASON Model and fsQCA Method // *Sustainability*. - 2025. - Vol. 17, No. 13. - Article No. 10116. - DOI: 10.3390/su171310116. - URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/13/10116> (accessed: 21.10.2025).
17. Safety data sheet "Therminol® 66 Heat Transfer Fluid" Safety Data Sheet number: 150000093438 SDSRU / RU / 0001. <https://www.therminol.com/>.
18. Safety data sheet 1. Name of the chemical and the company. Product Name: Diphenyl oxide MSDS Number: 000101848 Chemical Name: benzene, 1,1'-oxybis Synonyms: Diphenyl ether, Phenoxybenzene, DFO, phenyl ether. <https://alfa-transit.com/wp-content/uploads/2023/08/difenil-oksid-rus.pdf>.

Статья поступила в редакцию 27.10.2025, одобрена после рецензирования 01.12.2025, принята к публикации 16.12.2025.

The article was submitted 27.10.2025, approved after reviewing 01.12.2025, accepted for publication 16.12.2025.