

О РАСЧЕТНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА (ВЗРЫВА) НА
НАРУЖНЫХ ОТДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Научная статья

Седов Д.В.^{1,*}, Несмеянов А.А.²

¹ ORCID : 0009-0001-8234-3810;

² ORCID : 0000-0001-6591-7694;

¹ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Российская Федерация

² Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sedov_irk[at]list.ru)

Аннотация

В настоящее время в нормативной и научной литературе отсутствуют справочные данные о вероятности возникновения пожара (взрыва) на наружных отделительных установках систем пневмотранспорта, которые предназначены для отделения транспортируемых сыпучих материалов от транспортирующего газа. В результате отсутствия справочных данных затрудняется проведение расчета величины пожарного риска – одной из основных процедур обеспечения пожарной безопасности производственного объекта. В статье рассматривается способ расчетного определения вероятности возникновения пожара (взрыва) на примере наружной отделительной установки системы пневмотранспорта древесных опилок, расположенной на действующем деревообрабатывающем предприятии.

Ключевые слова: пожар, взрыв, сыпучие материалы, вероятность возникновения пожара (взрыва), система пневмотранспорта, наружная отделительная установка, пожарный риск.

ON CALCULATION OF PROBABILITY OF FIRE (EXPLOSION) OCCURRENCE AT EXTERNAL SEPARATING
INSTALLATIONS OF PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS

Research article

Sedov D.V.^{1,*}, Nesmeyanov A.A.²

¹ ORCID : 0009-0001-8234-3810;

² ORCID : 0000-0001-6591-7694;

¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

² East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, Russian Federation

* Corresponding author (sedov_irk[at]list.ru)

Abstract

Nowadays, there are no reference data in the normative and scientific literature on the probability of fire (explosion) occurrence at external separating installations of pneumatic conveying systems, which are designed to separate transported bulk materials from the transporting gas. As a result of the lack of reference data, it is difficult to calculate the value of fire risk – one of the main procedures to ensure fire safety of the production facility. The article examines the method of calculating the probability of fire (explosion) on the example of the external separation unit of the pneumatic conveying system of sawdust, located at the existing wood processing enterprise.

Keywords: fire, explosion, bulk materials, probability of fire (explosion), pneumatic conveying system, outdoor separation installation, fire risk.

Введение

Системы пневмотранспорта широко используются в промышленности для быстрой транспортировки сыпучих материалов (зерно, цемент, мука, песок, опилки и т.д.) потоком воздуха на значительные расстояния или высоты в пределах предприятия. Стандартная система пневмотранспорта включает питатель, воздуховодную машину (вентилятор, компрессор и т.д.), систему пневмопроводов, разгрузитель и приемник. В случае транспортировки твердых горючих материалов системы пневмотранспорта обладают взрывопожароопасностью. Наиболее уязвимыми с этой точки зрения являются их конечные узлы – разгрузитель и приемник, где прекращается линейное перемещение материала, возникают условия для образования горючей среды, появления источников зажигания, возникновения и развития пожара (взрыва). Данные узлы обычно объединяются в наружные отделительные установки, которые выполняют функцию выделения сыпучего материала из общего пневмопотока.

Вместе с тем, взрывопожарная опасность наружных отделительных установок систем пневмотранспорта изучена недостаточно: в нормативной и научной литературе для них отсутствуют справочные данные о вероятности (частоте) возникновения пожара или взрыва [1]. В результате затрудняется проведение одной из основных процедур обеспечения пожарной безопасности производственного объекта – расчета величины пожарного риска, которая осуществляется в соответствии с Федеральным законом [2], в порядке, утвержденном Постановлением Правительства РФ [3], по алгоритмам методики [4]. Кроме того, для данных наружных установок должны определяться категории по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с Федеральным законом [2], по алгоритмам методики [5], что также основывается на расчете пожарного риска. Таким образом, отсутствие справочных данных о вероятности возникновения пожара (взрыва) на наружных отделительных установках систем пневмотранспорта представляет

серьезную проблему при оценке пожарной опасности производственного объекта в целом. Решение же данной проблемы имеет научное и практическое значение.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является решение обозначенной проблемы путем адаптации для наружных отделительных установок систем пневмотранспорта общего метода определения вероятности возникновения пожара (взрыва) в пожаровзрывоопасном объекте, приведенного в приложении 3 к ГОСТ 12.1.004-91 [6].

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- 1) провести анализ параметров наружной отделительной установки;
- 2) провести анализ пожароопасных свойств перемещаемых материалов;
- 3) провести адаптацию метода определения вероятности возникновения пожара (взрыва) в пожаровзрывоопасном объекте [6] для наружных отделительных установок;
- 4) определить расчетное значение вероятности возникновения пожара (взрыва) в наружной отделительной установке.

Параметры наружной отделительной установки

Объектом исследования является наружная отделительная установка, входящая в состав системы пневмотранспорта деревообрабатывающего предприятия ООО «Мамаев», расположенного в г. Усть-Илимске Иркутской области, в промзоне Усть-Илимского лесопромышленного комплекса. Указанная система пневмотранспорта является низконапорной (с вентиляторами), всасывающей (разряжение до 500 Па), открытой (воздух засасывается из атмосферы и выпускается наружу). Скорость перемещения среды составляет 12–14 м/с. Работа системы пневмотранспорта осуществляется непрерывно (8760 ч в течение года).

На предприятии осуществляется распил древесного (соснового) сырья. Засасывание опилок в систему пневмотранспорта производится непосредственно от лесопильных станков, после чего опилки транспортируются по пневмопроводам к наружным отделительным установкам. Шлифовальные операции на предприятии не предусмотрены, поэтому выработка мелкодисперсной древесной пыли отсутствует. По этой причине в системе не образуются пылевоздушные смеси, а значит, возникновение взрыва исключается, но возникновение пожара является возможным. Кроме того, при движении по пневмопроводам опилки, ударяясь друг о друга и об элементы пневмопроводов, частично измельчаются с образованием микростружки (до 35% [7]). Данная микростружка способна возгораться от малокалорийных источников зажигания, что повышает пожарную опасность рассматриваемой отделительной установки.

Наружная отделительная установка (рис. 1) включает в себя батарею из трех разгрузителей (циклонных уловителей внутренним объемом по 6 м³ каждый) и объединяющий их приемник (накопительный бункер с внутренними размерами 10x5 м, высотой 6 м).



Рисунок 1 - Общий вид рассматриваемой наружной отделительной установки

Применяемые в качестве разгрузителей циклонные уловители представляют собой цилиндрические резервуары с конусом в нижней части. Принцип очистки – инерционный и состоит в использовании центробежной силы, которая вытесняет частицы из общего потока воздуха в пристеночную область, откуда под действием гравитации они осаждаются в конусную часть уловителя и перемещаются в бункер [8].

Источниками зажигания в наружной отделительной установке могут быть искры статического электричества, фрикционные искры (от попавших в систему металлических и минеральных тел), нагрев опилок от соударения между

собой и оборудованием, самовозгорание аэрогеля, искры электродвигателей вентиляторов, искры коротких замыканий электропроводки, перегрев подшипников вентиляторов и приводных ремней.

В рассматриваемой системе пневмотранспорта перемещаются частицы древесины в виде сосновых опилок и сосновой микростружки. Пожароопасные свойства данных материалов описаны в справочной и научной литературе. Сосновые опилки имеют размер 0,1–2,5 мм, начинают тлеть при 295 °С, самовоспламеняются при 399 °С [9], коэффициент теплопроводности составляет 0,07–0,093 Вт·м⁻¹·К⁻¹, плотность равна от 150 до 250 кг·м⁻³, теплоемкость составляет 1720 Дж·кг⁻¹·К⁻¹, коэффициент теплоотдачи равен 6 Вт·м⁻²·К⁻¹ [10].

Сосновая микростружка представляет собой частицы размером менее 71 мкм [11] и являются более опасным горючим материалом, чем сосновые опилки. Сосновая микростружка имеет температуру воспламенения 240–250 °С, температуру самовоспламенения 225 °С [12], минимальную энергию зажигания 4,84 Дж [13], то есть могут образовывать аэрозоль, способный воспламеняться от электрических разрядов.

Методы исследования

Общий подход к определению вероятности возникновения пожара (взрыва) на пожаровзрывоопасном объекте изложен в приложении 3 к ГОСТ 12.1.004-91 [6]. В результате адаптации данного подхода к рассматриваемой наружной отделительной установке системы пневмотранспорта, получено, что вероятность возникновения пожара (взрыва) в течение года будет определяться по формуле:

$$Q_{п(в)} = Q_{из} \cdot Q_{гс}, \quad (1)$$

где $Q_{из}$ – вероятность появления источника зажигания, в год;

$Q_{гс}$ – условная вероятность появления горючей среды в месте появления источника зажигания.

Как было указано, в качестве источников зажигания в наружной отделительной установке могут выступать разряды статического электричества, искры удара и трения, теплота от соударений опилок, самовозгорание отложений, искры электродвигателей, короткие замыкания, перегрев приводных ремней. Вероятность появления данных источников зажигания оценить затруднительно из-за отсутствия соответствующих статистических данных. При отсутствии статистических данных вероятность появления источника зажигания допускается (согласно п. 3.4 приложения 3 ГОСТ 12.1.004-91 [6]) вычислять по формуле:

$$Q_{из} = 1 - e^{-\frac{t}{t_{из}}}, \quad (2)$$

где t – время работы наружной отделительной установки в течение 1 года, ч;

$t_{из}$ – среднее время работы наружной отделительной установки до появления источника зажигания, ч.

Среднее время работы (ч) до появления источника зажигания согласно п. 3.4 приложения 3 ГОСТ 12.1.004-91 [6] допускается определять по формуле:

$$t_{из} = 3,03 \cdot 10^4 \cdot W^{1,2}, \quad (3)$$

где W – минимальная энергия зажигания горючей среды, Дж.

Отметим, что формулы (2) и (3) основываются на использовании минимальной энергии зажигания – наименьшей энергии электрического разряда, способной воспламенить наиболее легко воспламеняющуюся смесь горючего вещества с воздухом (определение из ГОСТ 12.1.044-89 [14]). Это означает, что использование данных формул возможно при рассмотрении газо-, паро- или пылевоздушных сред. Использование их для взвешенной в воздухе сосновой микростружки (аэрозоля) также будет корректным, поскольку данный материал способен возгораться от малокалорийных источников зажигания (для него имеется справочное значение минимальной энергии зажигания, равное 4,84 Дж [13]).

Также отметим, что для возникновения пожара (взрыва) горючая среда и источник зажигания должны появиться в одно и то же время. В рассматриваемом случае появление источника зажигания и горючей среды будет совпадать по времени, поскольку производство на предприятии осуществляется непрерывно (горючая среда в циклонных уловителях присутствует постоянно). Кроме того, горючая среда и источник зажигания должны появиться в одном и том же месте. В рассматриваемом случае образование горючей среды в циклонном уловителе происходит постоянно, поскольку древесная микростружка здесь прекращает линейное движение и движется по круговой траектории внутри корпуса уловителя. Таким образом, появление источника зажигания в циклонном уловителе приведет к тому, что источник зажигания и горючая среда будут присутствовать в одно и то же время, одном и том же месте. Условную вероятность $Q_{гс}$ появления горючей среды в месте появления источника зажигания можно считать равной 1, а вероятность $Q_{из}$ появления источника зажигания должна рассчитываться по формулам (2) и (3).

Расчет вероятности возникновения пожара (взрыва) в наружной отделительной установке системы пневмотранспорта проводится в следующей последовательности:

- 1) определяется среднее время работы наружной отделительной установки до появления источника зажигания;
- 2) определяется вероятность появления источника зажигания и горючей среды;
- 3) определяется вероятность возникновения пожара (взрыва).

Результаты и обсуждение

В процессе проведения расчетов было получено, что среднее время работы наружной отделительной установки до появления источника зажигания, определяемое по формуле (3), зависит от минимальной энергии зажигания сосновых микростружек ($W = 4,84$ Дж [13]) и составляет:

$$t_{из} = 3,03 \cdot 10^4 \cdot W^{1,2} = 3,03 \cdot 10^4 \cdot 4,84^{1,2} = 2 \cdot 10^5 \text{ ч}. \quad (4)$$

Также было получено, что вероятность появления источника зажигания, определяемая по формуле (2), зависит от рассчитанной выше величины $t_{из}$, времени работы наружной отделительной установки в течение года ($t = 8760$ ч) и составляет:

$$Q_{\text{из}} = 1 - e^{-\frac{t}{t_{\text{из}}}} = 1 - e^{-\frac{8760}{2 \cdot 10^5}} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ в год.} \quad (5)$$

Условная вероятность появления горючей среды в месте появления источника зажигания в рассматриваемом случае равна $Q_{\text{гс}} = 1$. Следовательно, вероятность возникновения пожара (взрыва) на наружной отделительной установке по формуле (1) составляет:

$$Q_{\text{п(в)}} = Q_{\text{из}} \cdot Q_{\text{гс}} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ год.} \quad (6)$$

Таким образом, для рассматриваемой наружной отделительной установки системы пневмотранспорта было определено расчетное значение вероятности возникновения пожара (взрыва). Для других типов отделительных установок вероятность пожара (взрыва) может отличаться в зависимости от свойств перемещаемого в системе пневмотранспорта сыпучего материала и режима работы отделительной установки.

Заключение

В заключении необходимо отметить, что научная значимость полученных результатов состоит в адаптации общего подхода к определению вероятности возникновения пожара (взрыва) на пожаровзрывоопасном объекте к конкретному типу технологических аппаратов, а также в получении новых данных о вероятности возникновения пожара (взрыва) на наружных отделительных установках систем пневмотранспорта. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что данные результаты могут использоваться при определении расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, в которых применяются системы пневмотранспорта, то есть могут быть полезны при декларировании и аудите пожарной безопасности производственных объектов, категорировании соответствующих наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, а также при разработке дополнительных противопожарных мероприятий.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. О частоте возникновения пожаров в зданиях деревообрабатывающих производств: письмо ФГУ ВНИИПО МЧС России от 18.07.2011 № 11-6-02/3734 на № ОЭТиСУ-884 от 16.06.2011. — 3 с.
2. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 25 декабря 2023 года): федер. закон: [№ 123-ФЗ Принят Государственной Думой 2008-07-04; одобр. Советом Федерации 2008-07-11] // Российская газета. — 2008. — № 163.
3. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска: Постановление Правительства РФ от 22.07.2020 № 1084 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2020. — № 30. — Ст. 4940, 2020.
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010): Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 // Пожарная безопасность. — 2009. — № 3.
5. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением № 1): СП 12.13130.2009 [Принят МЧС России 25 марта 2009 г.]. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
6. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1). — М.: Стандартинформ, 2006.
7. Молчанов С.В. Пожарная безопасность систем аспирации в деревообработке и мебельном производстве / С.В. Молчанов, В.С. Клубень, Д.Н. Рубцов // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — № 3(49). — с. 4.
8. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки / А.Г. Ветошкин — Пенза: Пензенский государственный университет, 2005. — 210 с.
9. Померанцев В.В. Самовозгорание и взрывы пыли натуральных топлив / В.В. Померанцев, С.Л. Шагалова, В.А. Резник и др. — Санкт-Петербург: Энергия. Ленинградское отделение, 1998. — 144 с.
10. Прокопьев П.С. Пожарная безопасность на предприятиях лесозаготовительной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности / П.С. Прокопьев — Москва: Лесная промышленность, 1969. — 392 с.
11. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли / А.Я. Корольченко — Москва: Химия, 1986. — 216 с.
12. Баратов А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: в 2 т / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук — Москва: Химия, 1990. — 1 т.
13. Александров А.Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях / А.Н. Александров, Г.Ф. Козориз — Москва: Лесная промышленность, 1988. — 248 с.
14. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (с Изменением № 1). — М.: Стандартинформ, 2006.

Список литературы на английском языке / References in English

1. O chastote vozniknoveniya pozharov v zdaniyah derevoobrabatyvayushchih proizvodstv [On the frequency of fires in woodworking buildings]: letter from FGU VNIPO EMERCOM of Russia dated July 18, 2011 No. 11-6-02/3734 to No. OETiSU-884 dated June 16, 2011. — 3 p. [in Russian]
2. Rossijskaja Federacija. Zakony. Tehnicheskij reglament o trebovanijah pozharnoj bezopasnosti (s izmenenijami na 25 dekabnja 2023 goda): Federal Law: [No. 123-FZ Adopted by the State Duma 2008-07-04; approved Federation Council 2008-07-11] // Rossiyskaya Gazeta [Russian newspaper]. — 2008. — № 163. [in Russian]
3. O poryadke provedeniya raschetov po ocenke pozharnogo riska [On the procedure for carrying out calculations to assess fire risk]: Decree of the Government of the Russian Federation of July 22, 2020 No. 1084 // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii [Collection of Legislation of the Russian Federation]. — 2020. — № 30. — Art. 4940, 2020. [in Russian]
4. Ob utverzhenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah (s izmenenijami na 14.12.2010) [On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities (as amended as of December 14, 2010)]: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 10, 2009 No. 404 // Pozharnaya bezopasnost' [Fire Safety]. — 2009. — № 3. [in Russian]
5. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti (s Izmeneniem № 1) [Determination of categories of premises, buildings and outdoor installations for explosion and fire hazards (with Amendment No. 1)]: SP 12.13130.2009 [Adopted by the Ministry of Emergency Situations of Russia on March 25, 2009]. — M.: FGU VNIPO EMERCOM of Russia, 2009. [in Russian]
6. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya (s Izmeneniem № 1) [Occupational Safety Standards System (OSSS). Fire safety. General requirements (with Change No. 1)]. — M.: Standartinform, 2006. [in Russian]
7. Molchanov S.V. Pozharnaja bezopasnost' sistem aspiratsii v derevoobrabotke i mebel'nom proizvodstve [Fire safety of aspiration systems in woodworking and furniture production] / S.V. Molchanov, V.S. Klubn', D.N. Rubtsov // Technosphere safety technologies. — 2013. — № 3(49). — p. 4. [in Russian]
8. Vetoshkin A.G. Protsessy i apparaty pyleochistki [Dust cleaning processes and devices] / A.G. Vetoshkin — Penza: Penza State University, 2005. — 210 p. [in Russian]
9. Pomerantsev V.V. Samovozgoranie i vzryvy pyli natural'nyh topliv [Spontaneous combustion and dust explosions of natural fuels] / V.V. Pomerantsev, S.L. Shagalova, V.A. Reznik et al. — Sankt-Peterburg: Energija. Leningrad Branch, 1998. — 144 p. [in Russian]
10. Prokop'ev P.S. Pozharnaja bezopasnost' na predpriyatijah lesozagotovitel'noj, derevoobrabatyvajushej, tselljulozno-bumazhnoj i lesohimicheskoj promyshlennosti [Fire safety at logging, woodworking, pulp and paper and wood chemical industries] / P.S. Prokop'ev — Moskva: Lesnaja promyshlennost', 1969. — 392 p. [in Russian]
11. Korol'chenko A.Ja. Pozharovzryvoopasnost' promyshlennoj pyli [Fire and explosion hazard of industrial dust] / A.Ja. Korol'chenko — Moskva: Himija, 1986. — 216 p. [in Russian]
12. Baratov A.N. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tushenija [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them]: in 2 vol / A.N. Baratov, A.Ja. Korol'chenko, G.N. Kravchuk. — Moskva: Himija, 1990. — 1 vol. [in Russian]
13. Aleksandrov A.N. Pnevмотransпорт и пылеулавливающие сооружения на деревообработывающих предприятиях [Pneumatic transport and dust collection structures at woodworking enterprises] / A.N. Aleksandrov, G.F. Kozoriz — Moskva: Lesnaja promyshlennost', 1988. — 248 p. [in Russian]
14. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredeleniya (s Izmeneniem № 1) [Occupational Safety Standards System (OSSS). Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination (with Amendment No. 1)]. — M.: Standartinform, 2006. [in Russian]