

Научная статья  
УДК: 614.841.2.001.5  
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.32.67.007

## Исследование сажи как причины возникновения пожароопасного состояния при эксплуатации отопительного котла на угольном топливе

*Дмитрий Владимирович Седов<sup>1</sup>*  
*Алексей Викторович Белов<sup>2</sup>*  
*Петр Анатольевич Клейманов<sup>3</sup>*  
*Николай Владимирович Кулек<sup>3</sup>*  
*Валерия Вячеславовна Толстова<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, остров Русский, Россия,  
<https://orcid.org/0000-0002-1554-863X>

<sup>3</sup>Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, Владивосток, остров Русский, Россия

<sup>4</sup>Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Приморскому краю, Владивосток, Россия

**Автор ответственный за переписку:** Петр Анатольевич Клейманов, [kleymanov@yandex.ru](mailto:kleymanov@yandex.ru)

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию пожароопасного состояния при эксплуатации дымоотводящей системы отопительных котлов на угольном топливе. На кровле здания котельной произошел пожар, причиной которого явилось загорание горючих материалов, от горящих фрагментов сажи, вылетающих из дымовой трубы. В статье рассмотрены пожарная опасность сажи и нагара в дымоотводных конструкциях, технические вопросы осмотра места пожара, установление причины пожара с подтверждением фотофиксации, приведена актуальность темы и возможные направления дальнейших исследований в данной области.

В материале приведен пример возникновения пожара на металлической кровле здания котельной, в области расположения дымовой трубы котла отопления от горящих фрагментов сажи, вылетающих из дымохода.

**Ключевые слова:** пожар, дымоотводящая система, уголь, сажа, пожароопасный процесс, исследование пожара, причина пожара

**Для цитирования:** Седов Д.В., Белов А.В., Клейманов П.А., Кулек Н.В., Толстова В.В. Исследование сажи как причины возникновения пожароопасного состояния при эксплуатации отопительного котла на угольном топливе // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33). С. 177-183. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.32.67.007>

Original article

## Investigation of soot as a cause of a fire hazard during operation of a coal-fired boiler

*Dmitry V. Sedov*<sup>1</sup>

*Alexey V. Belov*<sup>2</sup>

*Petr A. Kleimanov*<sup>3</sup>

*Nikolay V. Kulek*<sup>3</sup>

*Valeria V. Tolstova*<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Siberian Fire and Rescue Academy, Zheleznogorsk, Russia,*

<sup>2</sup>*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russky Island, Russia,*

<https://orcid.org/0000-0002-1554-863X>

<sup>3</sup>*Far Eastern Fire and Rescue Academy - branch of St. Petersburg University State Fire Service*

*EMERCOM of Russia, Vladivostok, Russky Island, Russia*

<sup>4</sup>*Forensic expert institution of the federal fire service "Fire Test Laboratory" in the Primorsky Territory,*

*Vladivostok, Russia*

**Corresponding author:** *Petr A. Kleymanov, kleymanov@yandex.ru*

**Abstract:** The article is devoted to the study of the fire hazard condition during the operation of the smoke exhaust system of coal-fired boilers. There was a fire on the roof of the boiler house, the cause of which was the ignition of combustible materials from burning fragments of soot flying out of the chimney. The article considers the fire hazard of soot and carbon deposits in chimney structures, technical issues of fire site inspection, establishment of the cause of the fire with confirmation of photo fixation, the relevance of the topic and possible directions for further research in this area are given.

The material gives an example of fire on the metal roof of the boiler room building, in the area of the heating boiler chimney from burning fragments of soot flying out of the chimney.

**Keywords:** fire, smoke exhaust system, coal, soot, fire hazardous process, fire research, cause of fire

**For citation:** Sedov D.V., Belov A.V., Kleimanov P.A., Kulek N.V., Tolstova V.V. Study of soot as the cause of a fire hazard during the operation of a heating boiler using coal fuel // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 2 (33). С. 177-183. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.32.67.007>

### Введение

В настоящее время уголь продолжает находить широкое распространение в качестве основного топлива для печного отопления, а также при эксплуатации котельных установок. Данный вид топлива имеет ряд преимуществ перед дровяным отоплением, в том числе за счет более высокой доступности, низкой стоимости, удобства логистики и конкурентных энергетических свойств, обеспечивающих выделение большого количества энергии и тепла. Также существенным преимуществом угля является его возможность применения в современных автоматизированных отопительных системах. Но при этом уголь может являться пожароопасным видом топлива, требующим соблюдения технических условий и техники безопасности при бытовом и промышленном использовании [1].

При полном сгорании угля, кроме золы, из него образуются летучие газообразные продукты, а также несгоревшие углеводороды, в том числе в виде сажи. Газообразные продукты горения угольного топлива, включающие мелкую твердую фазу, формируются в виде дыма, окрашенного в светло-серый, серовато-желтый или темно-серый цвета. Дым от древесного топлива намного легче воздуха, поэтому он быстрее поднимается вверх. Дым от ископаемых углей тяжелее и трудно рассеивается в атмосфере, при этом твердая фаза оседает в виде сажи на различных поверхностях.

Сажа представляет собой углеродсодержащее вещество, образуемое как продукт неполного термического разложения углеводородов в неконтролируемых термических

и окислительных условиях. При этом сажа химически содержит углерод, водород, кислород, серу и остатки минеральных веществ угольного топлива. Сажа, как правило, является нежелательным продуктом горения. При этом, несмотря на то, что природу и механизмы её образования изучают длительное время, многое остается невыясненным и для многих областей техники пока нет достаточно эффективных способов управления процессами образования и последующего термического разложения сажи [2].

Скапливание сажи и нагара в дымоотводящих элементах является опасным для возникновения пожаров явлением, так как ее возгорание сопровождается высокотемпературным выбросом горящих частиц и возможной инициацией газификации сажевого остатка, провоцирующей дополнительное горение. Скопившаяся в трубе сажа может воспламениться от искр, образовавшихся вследствие механического разрушения кусков топлива, которое проявляется эффектом термической деформации (потрескиванием) угля и дров. Температура при таком процессе горения может достигать более 1000°C. Горящая сажа может приводить к разрушению канала дымоходов, перегреву и воспламенению рядом расположенных горючих предметов и конструкций. Особую опасность представляют дымоотводные конструкции (трубы), расположенные в пределах кровельного пространства с деревянными элементами, так как температура воспламенения сухого дерева составляет порядка 250-260°C [3,4]. Аналитические оценки показывают, что малоизвестная причина пожаров в домах с печным отоплением происходит, в том числе по причине сажи, загоревшейся в дымоотводящих конструкциях (печных трубах).

### **Объект пожара и метод его исследования**

В статье приведен пример возникновения пожара на металлической кровле здания котельной, в области расположения дымовой трубы котла отопления от горящих фрагментов сажи, вылетающих из дымохода.

Для установления данной причины возникновения пожара специалистами были установлены обстоятельства, предшествующие пожару, а также наличие в очаговой зоне горючих материалов, способных загореться от вышеуказанного источника.

Согласно имеющимся методикам, установление очага пожара производится на основании исследования состояния конструкций, предметов и материалов после пожара, характера их поражения огнем, с учетом физических закономерностей протекания тепловых процессов в зоне горения и возможных путей распространения огня [5]. Окончательный вывод по очагу пожара делается по совокупности имеющихся данных, полученных в результате исследования пожара.

После определения очага пожара, специалистом устанавливается непосредственная техническая причина возникновения пожара. Для этого, дознавателю и специалисту, работающих на объекте, необходимо определить потенциальные источники зажигания, способные возникнуть в очаговой зоне или попасть в эту зону, а затем подтвердить или опровергнуть их причастность к пожару. В настоящее время применяется методика установления причины пожара путем исключения наименее вероятных версий его возникновения. При этом выдвижение тех или иных версий возникновения пожара зависит как от пожарно-технической характеристики объекта пожара, обстоятельств, предшествующих пожару так и от места расположения очага пожара и материалов, находящихся в очаге пожара [6,7].

При осмотре специалистом места происшествия в районе рассматриваемой в данной статье котельной было установлено, что в результате пожара были повреждены здание котельной, а также пристроенное к нему административное строение. При этом, в представленных материалах имеются свидетельские показания, которые указывают, что первые признаки пожара были обнаружены в помещении котельной на потолке в районе дымохода. Учитывая это, специалист принял решение рассмотреть более подробно

термические поражения здания котельной и установить область с максимальными термическими поражениями.

В ходе исследования вышеуказанного объекта было установлено, что котельная представляла собой кирпичное одноэтажное здание, расположенное на огороженной и охраняемой территории в одном из районов г. Владивостока. Крыша здания двускатная, кровля покрыта металлическими профилированными листами по деревянной обрешётке. Данное строение электрифицировано, отопление осуществлялось с помощью комбинированного отопительного котла, работающего на электричестве и твердом топливе.

В результате пожара термические поражения в здании котельной сформировались преимущественно в месте расположения дымовой трубы котла и прилегающих к ней конструкций крыши. Так, часть крыши в этой области выгорела, кровля обрушилась и деформировалась, деревянные конструкции чердачного перекрытия значительно обуглились. Лакокрасочное покрытие обрушенных металлических конструкций крыши уничтожено огнем. Изоляция электрических проводов, проложенных по помещению чердака, выгорела. Металлическая ферма крыши над расположением отопительного котла деформировалась. Также в помещении, где располагался котел отопления, частично отсутствовало потолочное перекрытие. Не исключено что данные конструкции были разрушены либо при развитии пожара, либо в ходе разбора конструкций при тушении пожара. В других местах крыши здания значительных деформационных поражений на металлических конструкциях не выявлено, на отдельных металлических конструкциях сохранилось лакокрасочное покрытие, деревянные конструкции кровли также частично сохранились. Внутри здания все помещения лишь закоптились продуктами горения. Исходя из вышеописанного, специалистом был сделан вывод, что степень термических поражений увеличивается по направлению к расположению дымовой трубы котла отопления. Каких-либо особенностей (условия газообмена, характер распределения пожарной нагрузки, обстоятельства тушения пожара), способных повлиять на характер образовавшихся повреждений, в ходе осмотра выявлено не было. Учитывая вышеизложенное, расположение очага пожара характеризуется местом наибольших термических поражений.

На основе показаний охранника здания котельной и на основе данных описаний термических поражений было установлено, что первоначальное горение возникло в здании котельной в области расположения дымовой трубы.

Как уже было указано выше, очаг пожара находился в здании котельной, в области расположения дымовой трубы. В данной области при исследовании места пожара каких-либо признаков искусственного инициирования горения, следов тлеющего горения, характерного для возгорания от непотушенного окурка, а также следов протекания аварийных режимов работы не установлено. Учитывая вышеизложенное, а также расположение очаговой зоны, следует рассмотреть версии возникновения пожара, связанные с работой отопительного котла.

В ходе исследования места происшествия было установлено, что отопительный котёл, расположенный в нижнем помещении котельной, был затоплен, автономная водяная система отопления работала. Учитывая данные сведения, можно заключить, что дымовая труба и другие приборы отопления на момент возникновения пожара были прогреты.

Анализ конструкций показал, что вертикальный участок дымовой трубы проходил через чердачное помещение. Дымовая труба представляла собой конструкцию типа «труба в трубе». Межтрубное пространство в них было заполнено теплоизоляционным материалов в виде минеральной ваты. Установлено, что место сочленений отдельных фрагментов труб не во всех конструкциях является изолированным и герметичным, что со временем, при термической, механической или коррозионной деформации труб по тем или иным причинам, стыки могут приобретать критические зазоры, через которые могут выходить топочные газы и искры. Установлено, что особенно опасны в этом плане горизонтально и наклонно уложенные участки труб, сочленения которых под тяжестью плохо закреплённой трубы легко смещаются по

плоскости соприкосновения. При наличии отверстий и трещин в дымоходе выход нагретых топочных газов может инициировать тление сажевых остатков с переходом в пламенное горение в прилегающих к дымоходу зонах. Также выход термически активных дымовых газов со временем может создать условия для возникновения тления склонных к этому материалов, инициирования теплового самовозгорания, в том числе, при длительном воздействии, не исключен переход пирофорное состояние находящейся в контакте древесины [8].

При возникновении пожаров от дымоходов горение обычно распространяется на вышерасположенную часть, что в том числе было характерно и для случая рассматриваемой в статье котельной. При исследовании места происшествия каких-либо трещин и щелей на дымовой трубе специалистом не установлено. Изменения цвета на металлических конструкциях трубы (в чердачном помещении) также не зафиксировано. Учитывая вышеизложенное, версия возникновения пожара от выхода топочных газов через возможные щели в дымовой трубе котла отопления представляется маловероятной.

При исследовании очаговой зоны было установлено, что в области прохода дымовой трубы через чердачное помещение каких-либо горючих материалов не было. При этом, не исключено, что внутренние отделочные материалы, в том числе, обрешетка крыши, располагались в непосредственной близости к дымовой трубе. Также не исключено, что на поверхности крыши мог скопиться различный горючий мусор в виде веток, листья и т.д. На видеозаписи с камеры наружного наблюдения, установленной на территории предприятия, было зафиксировано непосредственно до возникновения пожара на крышу здания котельной падали, горящие фрагменты сажи, изображенные на Рисунке.



*Рисунок. Крыша здания котельной. Красными кругами обозначены горящие фрагменты сажи*

Учитывая это, целесообразно рассмотреть версии возникновения пожара от искр, горящих фрагментов сажи, вылетающих из дымовой трубы отопительного котла. Согласно предыдущих исследований специалистов [9], к пожару может привести возгорание отложений в дымоходе. Подобные загорания могут инициировать возникновение серьезных пожаров. При этом, большая часть таких пожаров связана именно с загоранием крыш. В зависимости от вида сажи, ее количества и условий горения, температура в дымоходе при ее горении может достигать нескольких сотен или даже тысячи градусов. При возгорании сажи, большие количества горящих фрагментов вырываются из трубы, что сильно увеличивает опасность зажигания крыши и других элементов здания. Особо опасны сажевые отложения в трубах при сгорании угольного топлива. Как уже излагалось ранее, отопительный котел топили углем различных марок. К тому же, на Рисунке зафиксировано, что непосредственно до пожара на конструкции крыши падали искры и горящие фрагменты сажи. Следовательно, не исключено,

что данные горячие частицы могли попасть на горючие материалы (ветки, листва и т.п.), расположенные на крыше, что привело к возникновению пожара [10]. Также можно предположить, что на конструкциях крыши или в отделке чердачного помещения имелись сквозные отверстия или щели, через которые данный источник мог попасть на горючие материалы, которые впоследствии загорелись. Исходя из вышеизложенного, исключить версию возникновения пожара от искр, горящих фрагментов сажи, вылетающий из дымовой трубы отопительного котла не представляется возможным.

Также при значительных скоплениях сажи в газоотводящих трубах следует учитывать дополнительный возможный фактор в виде вероятности наличия реакций термического разложения (пиролиза) и неполного окисления сажевого остатка, сопровождающихся выделением горючих газов газификации углеродсодержащих компонентов, дополнительно инициирующих горение, повышение температуры и выброс горящих частиц в незащищенное пространство.

Таким образом, исходя из проведенного выше анализа, можно заключить, что причиной возникновения пожара явилось загорание горючих материалов (горючего мусора, сухая растительность, скопившиеся на крыше, деревянных конструкций и т.д.) в очаговой зоне от горящих фрагментов сажи, вылетающих из дымовой трубы отопительного котла при ее критическом скоплении.

### **Заключение**

Значимость продолжения исследований по теме «сажа как причина возникновения пожароопасных состояний при эксплуатации отопительных котлов на угольном топливе» состоит в том, что в промышленном и частном использовании твердого топлива (угля), при его сгорании образуются летучие продукты в виде сажи. Опасность сажи заключается в скапливание нагара с дальнейшим возгоранием в дымоходе, сопровождающемся высокотемпературным выбросом.

Решение данной проблемы заключается в соблюдении требований, норм, правил нормативно - правовых документов в области строительства и пожарной безопасности, что является залогом безопасной эксплуатации печного оборудования на предприятиях, в зданиях и жилых домах.

Также авторами установлено, что перспективным направлением исследований является изучение дополнительного возможного фактора в виде наличия реакций термического разложения (пиролиза) и неполного окисления сажевого остатка для различных видов топлива, сопровождающихся выделением горючих газов, газификации углеродсодержащих компонентов, дополнительно инициирующих горение, повышение температуры и выброс горящих частиц в незащищенное пространство.

### **Список источников**

1. Радченко В.Е. Причины пожаров на предприятиях угледобывающей промышленности. / [и др.], // Молодой ученый. № 50 (340) / 2020. С. 71.
2. Галанин М.П., Исаев А.В., Конев С.А. О моделировании образования сажи при диффузионном горении углеводородных топлив // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2019. № 110. 32 с. doi:10.20948/prepr-2019-110 URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-110>.
3. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1981. -272., ил.
4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: Справ. Изд.: в 2 книгах; кн. 1/ Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др. – М., Химия, 1990. – 496 с. (стр. 326-327).
5. Методология судебной пожарно-технической экспертизы: основные принципы. М.:ФГБУ ВНИИПО, 2013. 23 с.

6. Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров. – М.: Стройиздат, 1966 – 166 с.
7. Задачи пожарно-технической экспертизы и методы их решения: Учебное пособие. – М.: ГУ ЭКЦ МВД России, 2001. – 200 с., библиогр. (стр. 137).
8. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. 1982 - 9 с.
9. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров. Методическое пособие. – М.: ВНИИПО, 2002, 330 с.
10. Чешко И.Д. Анализ экспертных версий возникновения пожара. В 2-х книгах. СПбФ ФГУ ВНИИПО МЧС России, Кн. 1 – Санкт-Петербург: ООО «Типография «Береста», 2010. – 708 с.: ил.

## References

1. Radchenko V.E The causes of fires at coal mining enterprises. / [et al.], // Young scientist. No. 50 (340) / 2020. p. 71.
2. Galanin M.P., Isaev A.V., Konev S.A. On modeling soot formation during diffusion combustion of hydrocarbon fuels // Preprints of IPM named after M.V.Keldysh. Gorenje. 2019. No. 110. 32 p. doi:10.20948/prepr-2019-110 URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-110>.
3. Demidov P.G., Shandyba V.A., Shcheglov P.P. Gorenje i properties of combustible substances. – 2nd ed., reprint. – М.: Khimiya, 1981. -272., ill.
4. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them: Reference Edition: in 2 books; book 1/ Baratov A.N., Korolchenko A.Ya., Kravchuk G.N. et al. – М., Chemistry, 1990. – 496 p. (pp. 326-327).
5. Methodology of judicial fire-technical expertise: basic principles. Moscow:FGBI VNIPO, 2013. 23 p.
6. Megorsky B.V. Methodology for determining the causes of fires. – М.: Stroyizdat, 1966 – 166 p.
7. Tasks of fire-technical expertise and methods of their solution: Textbook. – М.: GU ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2001. – 200 p., bibliogr. (p. 137).
8. GOST 12.1.033-81. SSBT. Fire safety. Terms and definitions. 1982 - 9 p .
9. Cheshko I.D. Technical foundations of fire investigation. Methodical manual. – М.: VNIPO, 2002, 330 p.
10. Cheshko I.D. Analysis of expert versions of fire occurrence. In 2 books. SPbF Federal State University VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Book 1 – St. Petersburg: LLC "Printing house "Beresta", 2010. – 708 p.: ill.

### Информация об авторах

Д.В. Седов – кандидат технических наук

А.В. Белов - кандидат технических наук, доцент

### Informatin about the author

D.V. Sedov - Ph.D. of Engineering Sciences

A.V. Belov - Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.05.2024; одобрена после рецензирования 05.06.2024; принята к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 24.05.2024, approved after reviewing 05.06.2024, accepted for publication 17.06.2024.