

Оригинальная статья

УДК 630.431.2

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-123-128>



ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

О.Н. Дидманидзе¹, А.В. Евграфов^{2✉}, А.С. Гузалов³, А.В. Куриленко⁴, Д.А. Филимонов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; г. Москва, Российская Федерация

¹ didmanidze@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0003-2558-0585

² labpoliv@list.ru; ORCID: 0000-0002-2313-2191

³ aguzalov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3526-4332

⁴ a.kurilenko@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0003-3661-1121

⁵ filimonov.dmitrii@rgau-msha.ru; ORCID: 0009-0006-5484-5334

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по изучению процессов термического разложения сосны и лиственницы, а также свежих еловых опавов методом их изотермического разложения, что позволит оценить пожароопасность вышеописанного лесного горючего материала (ЛГМ). На практике зафиксированы случаи самовозгорания соснового опада в холодное время года после выпадения атмосферных осадков в виде снега, что документально зафиксировано в лесном массиве Воронежской области. Цель исследований – экспериментально определить температуру начала термического разложения с образованием газообразных продуктов горения некоторых лесных горючих материалов. Для проведения экспериментальных исследований на предмет термической деструкции были отобраны образцы лесных горючих материалов на территории Брянской области – таких, как опад сосны и лиственницы, а также свежие иголки ели. Была собрана термографическая установка, определена температура начала термической деструкции, или разложения, опада сосны (*Pinus sylvestris*), лиственницы (*Larix sibirica*) и ели (*Picea abies*).

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 26-16-00015 (URL: <https://rscf.ru/project/26-16-00015/>)

Ключевые слова: лесной горючий материал, возгорание, термографический анализ, лесные пожары, термическое разложение

Формат цитирования: Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Гузалов А.С., Куриленко А.В., Филимонов Д.А. Определение начальной температуры термической деструкции лесных горючих материалов. Природообустройство. 2026;Т.19(3):123-128. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-123-128>

Scientific article

DETERMINATION OF THERMAL DECOMPOSITION TEMPERATURE OF FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS

O.N. Didmanidze¹, A.V. Evgrafov^{2✉}, A.S. Guzalov³, A.V. Kurilenko⁴, D.A. Filimonov⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Goryachkin Institute of Mechanics and Power Engineering; Moscow, Russian Federation

¹ didmanidze@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0003-2558-0585

² labpoliv@list.ru; ORCID: 0000-0002-2313-2191

³ aguzalov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3526-4332

⁴ a.kurilenko@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0003-3661-1121

⁵ filimonov.dmitrii@rgau-msha.ru; ORCID: 0009-0006-5484-5334

Abstract. This article presents the results of experimental studies investigating the thermal decomposition of pine and larch, as well as fresh spruce needles, using isothermal decomposition. This study will allow us to assess the fire hazard of the aforementioned forest fuels. Cases of spontaneous combustion of pine litter during the cold season, following precipitation in the form of snow, have been documented; this effect has been documented in a forested area of the Voronezh Region. The objective of the study was to experimentally determine the onset temperature of thermal decomposition, with the formation of gaseous combustion products, of certain forest fuels. To conduct experimental studies on thermal degradation, samples of forest combustible materials in the Bryansk region, such as pine and larch leaves, as well as fresh spruce needles,

were selected. A thermographic setup was assembled for laboratory experiments, and the onset temperature of thermal destruction, or decomposition, of pine (*Pinus sylvestris*), larch (*Larix sibirica*), and spruce (*Picea abies*) litter was determined.

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 26-16-00015 (URL: <https://rscf.ru/project/26-16-00015/>)

Keywords: forest combustible material, ignition, thermographic analysis, forest fires, thermal decomposition

For citation: Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.S., Kurilenko A.V., Filimonov D.A., Determination of thermal decomposition temperature of forest combustible materials. *Prirodoobustroystvo*. 2026;19(3):123-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-123-128>

Введение. Лесные пожары оказывают большое влияние на увеличение сезонной глубины промерзания почв, так как с выгоранием почвы и в результате уменьшения утепляющего воздействия происходит нарушение теплофизических параметров почвенных слоев. Это приводит к тому, что увеличивается поверхностный сток и повышается степень деградации почв за счет увеличения водной и ветровой эрозии на значительных площадях.

Причинами возникновения лесных пожаров являются такие теплофизические процессы, как вынужденное зажигание от нагретых тел, самовозгорание лесных горючих материалов.

Пожароопасный сезон в лесу длится с момента схода снегового покрова до наступления устойчивой дождливой осенней погоды, то есть с апреля по ноябрь. Сезон пожарной опасности в лесу подразделяют на пожароопасные периоды и периоды отсутствия пожарной опасности, которые возникают после выпадения осадков в количестве более 3 мм. Наиболее пожароопасным является период с июля по август, когда число пожаров достигает своего максимума. К наиболее пожароопасным лесным насаждениям относятся хвойные леса и лишайники [1].

Дым, образующийся при сгорании биологической массы лесной растительности (травы, листвы деревьев и кустарников, мхов, лишайников, торфяников, лесной подстилки и хвой), представляет собой аэрозольно-газовую смесь, содержащую вредные для окружающей среды и здоровья человека вещества [2].

Сжигание биомассы является основным глобальным источником газопылевых выбросов в атмосферу и считается одним из основных эко-токсикологических факторов риска для здоровья населения.

Массовый выброс углекислого газа от природных пожаров в РФ составляет до 400 млн т, что соответствует 18% всех годовых антропогенных выбросов парниковых газов в России [3].

Самовозгорание лесных горючих материалов является одной из причин лесных

пожаров [4]. Следует отметить, что лесные горючие материалы относятся к биотопливу, отличающемуся от синтетического тем, что окислитель, кислород, поступает через поры из окружающей среды, насыщает практически весь объем материала, обуславливая его большую пожароопасность и склонность к вынужденному зажиганию и самовозгоранию [5].

Таким образом, очевидно, что причинами возникновения лесных пожаров являются такие теплофизические процессы, как вынужденное зажигание от нагретых тел, самовозгорание лесных горючих материалов. Следует отметить, что пожароопасный сезон в лесу длится с момента схода снегового покрова до наступления устойчивой дождливой осенней погоды, то есть с апреля по ноябрь. Периоды отсутствия пожарной опасности возникают после выпадения атмосферных осадков, которые превышают 3 мм. В результате значительная часть теплоты разогрева лесного горючего материала расходуется на испарение из него влаги, а не на его разогрев, который приводит к возникновению процесса самовозгорания или вынужденного зажигания.

Цель исследований: изучение процессов термического разложения ЛГМ для определения их пожароопасности и склонности к возникновению процессов самовозгорания и вынужденного зажигания.

Материалы и методы исследований. Для проведения экспериментальных исследований на предмет термической деструкции были отобраны образцы лесных горючих материалов на территории Брянской области – таких, как опад сосны и лиственницы, а также свежие иглолки ели.

При проведении опытов образцы ЛГМ загружались в цилиндрический контейнер К60 из латунной сетки диаметром 30 мм и высотой 60 мм (рис. 1а).

Термографическая установка (рис. 1б) включала в себя: сушильный шкаф СНОЛ-3.5; термопары ДТКП-0.5-4; измеритель-регистратор 8 каналов ОВЕН; программное обеспечение

ОВЕН; контейнер из латунной сетки; 5-компонентный газоанализатор МЕТА АВТО-ТЕСТ-02.03П. Для определения изменения массы исследуемых образцов использовались весы АСЗЕТ СУ-513 (предел взвешивания – 510 г с точностью 0,001 г.

Размер цилиндрического контейнера К60 был определен из рекомендаций [6] для исследований превращений веществ в твердом состоянии применять образцы с отношением высоты к диаметру 2:1 для насыщения всего объема кислородом. Это особенно важно при проведении экспериментальных исследований на предмет возникновения процессов термического разложения материалов. При этом масса исследуемого вещества варьируется от нескольких граммов до нескольких десятков граммов [7, 8].

В контейнер загружались образцы исследуемого лесного горючего материала, которые выдерживались при температуре 25°C в помещении в течение 100 суток. В процессе исследований в экспериментальной термографической установке ТГ задавался изотермический режим при постоянной температуре 200°C. Предварительно установка выдерживалась при заданной температуре в течение 60 мин. В ходе эксперимента фиксировалось изменение параметров испытуемого образца, а именно его температурный режим и появление газообразных продуктов

термической деструкции с помощью газоанализатора. Оксиды азота NO_x появлялись раньше, чем CH и CO_2 , поэтому опыты проводились до их появления. Взвешивание образцов лесного горючего материала производилось до эксперимента и после его завершения для определения массы ЛГМ, подвергшейся термическому разложению.

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований термической деструкции лесных горючих материалов представлены на рисунках 2-4. Следует отметить, что начальной считалась температура термического разложения ЛГМ, когда газоанализатор показывал значения концентрации оксидов азота NO_x в термографической установке в количестве 10 ppm, или 19,1 мг/м³, то есть когда процесс термического разложения становился устойчивым.

Как следует из данных графика (рис. 2), время до окончания термического разложения опада лиственницы составляет 29 мин при нагревании до температуры 195°C. Это означает, что за указанный промежуток времени при такой температуре происходит термическое разложение опада лиственницы, то есть он теряет свои исходные свойства и превращается в другие вещества. Этот процесс может включать в себя химические реакции, при которых изменяются состав и структура компонентов опада [9].

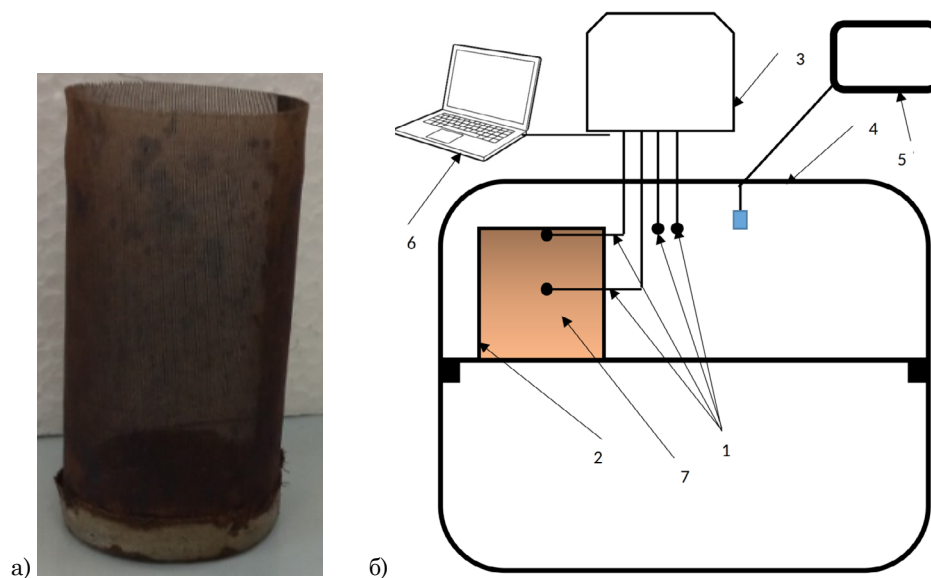


Рис. 1. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки (б): 1 – термопары ДТКП-0.5-4; 2 – контейнер; 3 – измеритель-регистратор 4 канала ОВЕН; 4 – сушильный шкаф СНОЛ-3,5; 5 – пятикомпонентный газоанализатор; 6 – персональный компьютер с программным обеспечением ОВЕН; 7 – испытуемый образец лесного горючего материала

Fig. 1. Experimental setup

Diagram of the experimental facility, where (б): 1 – DTKP-0.5-4 thermocouples; 2 – container; 3 – OWEN 4-channel recorder meter; 4 – SNOL drying oven – 3.5; 5 – five-component gas analyzer; 6 – personal computer with OWEN software, 7 – test sample of forest combustible material

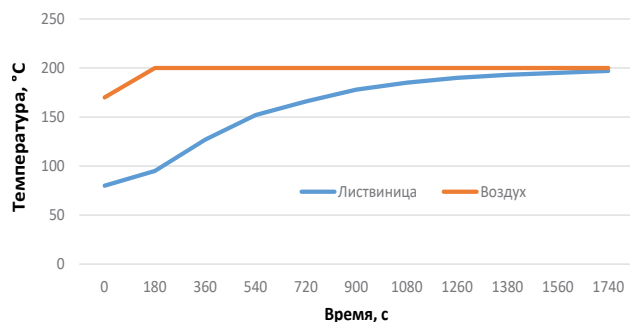


Рис. 2. Динамика термического разложения опада лиственницы до температуры 195°C и показаний газоанализатора $\text{NO}_x = 10 \text{ ppm}$

Fig. 2. Dynamics of thermal decomposition of larch litter, up to a temperature of 195°C and gas analyzer readings of $\text{NO}_x=10 \text{ ppm}$

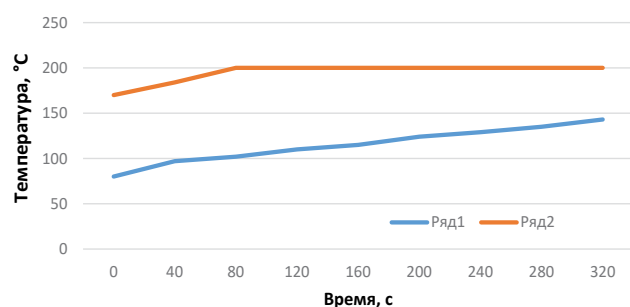


Рис. 3. Динамика термического разложения опада сосны до температуры 137°C и показаний газоанализатора $\text{NO}_x = 10 \text{ ppm}$

Fig. 3. Dynamics of thermal decomposition of pine litter, up to a temperature of 137°C and gas analyzer readings of $\text{NO}_x=10 \text{ ppm}$

При нагревании до температуры 137°C опад сосны разлагается термически за немного более чем 5 мин (рис. 3). Следовательно, за указанный промежуток времени при этой температуре органические вещества, содержащиеся в опаде сосны, подвергаются химическим изменениям, в результате которых происходит разложение на другие соединения. Этот процесс может включать в себя окисление, дегидратацию и другие реакции, приводящие к изменению структуры и состава веществ [10].

Из данных графика (рис. 4) следует, что при нагревании до температуры 115°C время, необходимое для завершения термического разложения опада ели, составляет немного более 3,5 мин. Такие показатели обуславливаются большим содержанием в ней смолистых веществ по сравнению с опадом сосны и лиственницы [10-12].

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали, что температура термического разложения опада лиственницы составила 195°C, сосны — 137°C, ели — 115°C. Время до начала термической деструкции составило 1740, 320 и 220 сек. соответственно.

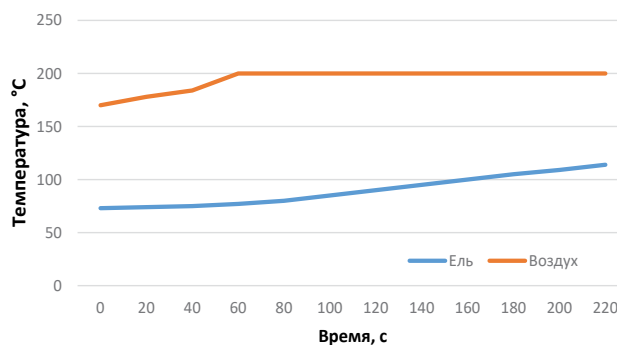


Рис. 4. Динамика термического разложения опада ели до температуры 115°C и показаний газоанализатора $\text{NO}_x = 10 \text{ ppm}$

Fig. 4. Dynamics of thermal decomposition of spruce litter, up to a temperature of 115°C and gas analyzer readings of $\text{NO}_x=10 \text{ ppm}$

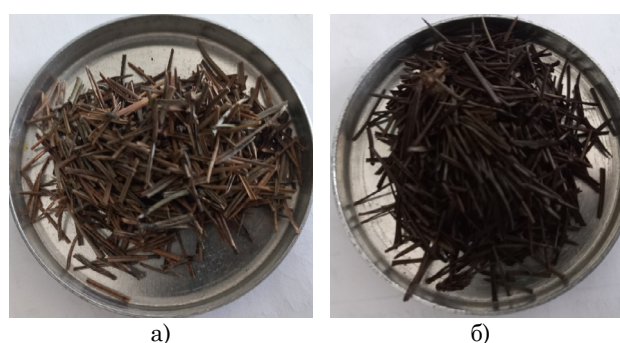


Рис. 5. Образцы опада сосны (фото):

а) — до эксперимента; б) — после эксперимента

Fig. 5. Photograph of pine litter samples:

а) — before the experiment, б) — after the experiment

При этом во время извлечения контейнеров с образцами из термографической установки визуально фиксировались дымовые частицы, а также их обугливание, что также подтверждает термическое разложение лесных горючих материалов [10-12].

Результаты взвешивания образцов до эксперимента и после него показали, что масса опада лиственницы уменьшилась на 15% от исходной, сосны — на 20,1%, а ели — на 24%. Начальные значения NO_x составляли от 1 до 5 ppm для опада сосны при 87°C, для опада ели — при 80°C, для опада лиственницы — при 154°C. Подчеркнем, что эти данные свидетельствуют о высокой пожарной опасности ЛГМ, особенно опада сосны и ели.

Выводы

1. При проведении термографических исследований лесных горючих материалов нежелательно их подготавливать перед проведением экспериментов способом стандартной сушки при температурах 90-100°C, поскольку уже при данных температурах начинается их термическое разложение.

2. В результате эксперимента установлено, что лесной горючий материал (ЛГМ) в виде опада лиственницы, сосны и ели демонстрирует различную степень уменьшения массы при нагревании. Наибольшее уменьшение массы наблюдается у опада ели.

3. Экспериментально определены температуры термического разложения для опада лиственницы (195°C), сосны (137°C) и ели (115°C). Это подтверждает высокую пожароопасность ЛГМ, особенно опада сосны и ели, которые начинают разлагаться при относительно низких температурах.

4. Время до начала термической деструкции также различается: у опада лиственницы

оно составляет 1740 сек., у сосны – 320 сек., у ели – 220 сек. Это указывает на то, что разные виды опада имеют различную устойчивость к нагреванию.

5. Визуальные наблюдения при извлечении контейнеров с образцами из термографической установки подтвердили термическое разложение ЛГМ, что свидетельствует о выделении дымовых частиц и обугливание образцов. На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что вероятность возникновения возгорания лесных горючих материалов ели и сосны в результате процессов самовозгорания и вынужденного зажигания достаточно велика.

Список использованных источников

1. Dhaundiyal A. & Gupta V.K. (2014). The Analysis of Pine Needles as a Substrate for Gasification. *Hydro Nepal Journal of Water Energy and Environment*. 15. 10.3126/hn.v15i0.11299
2. Fateh Talal & Richard Franck & Batiot, Benjamin & Rogaume, Thomas & Jocelyn, Luche & Zaida J. (2016). Characterization of the burning behavior and gaseous emissions of pine needles in a cone calorimeter – FTIR apparatus. *Fire Safety Journal*. 82. 91-100. 10.1016/j.firesaf.2016.03.008
3. Дорпер Г.А. Динамика лесных пожаров: Монография. Новосибирск: Наука СО РАН, 2008. 404 с.
4. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1966. 491 с.
5. Марьяндышев П.А., Чернов А.А., Любов В.К. Термогравиметрическое и кинетическое исследование торфа и гидролизного лигнина // *Международный журнал экспериментального образования*. 2014. № 12. С. 20-27. EDN: TJYAEN
6. Бондарев В.Я., Гусева Л.М. Особенности подготовки сырья для пиролиза древесины // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014. Т. 4. С. 106-110
7. Song J. Flaming Ignition of PMMA, PineWood and Pine Needle by External Radiation: Autoignition and Radiant Distance Effect. *Fire* 2023, 6, 163. <https://doi.org/10.3390/fire6040163>
8. Полищук Ю.М., Кокорина Н.В., Касаткин А.М. Анализ биоиндикационных свойств сосны сибирской для оценки воздействия факельного сжигания попутного газа на природную среду // *Вестник ЮГУ*. 2006. № 3 (4)
9. Лоскутов С.Р., Казарян Л.К., Пермякова Г.В. Пиролиз хвой *Pinus obovata* ledeb.: термические и термодинамические параметры, кинетика, механизмы реакций // *Химия растительного сырья*. 2025. № 3
10. Валеева А.Р., Валиуллина А.И., Бикбулатова Г.М., Башкиров В.Н. Уменьшение массовой доли свободного формальдегида в фенолоформальдегидных смолах с замещением фенола жидкими продуктами пиролиза древесины // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2021. № 3. С. 94-102
11. Ofoefule, Akuzuo & Igweagwu, Jude & Ugwu, Matthias & Mgbadike, C & Chizoo, Esoneye. (2019). Effects of Pine Needle (*Pinus pinaster*) dust on the performance characteristics of subbituminous coal briquette for Energy Generation. 7. 1-6. 10.5281/zenodo.2639876
12. Петрунина Е.А., Рязанова Т.В., Анискина А.А., Пермякова Г.В., Стасова В.В. Сравнительный анализ физико-химических свойств коры лиственницы и сосны: термический анализ и аналитический пиролиз // *Сибирский лесной журнал*. 2022. № 4. С. 35-49

References

1. Dhaundiyal A. & Gupta V.K. (2014). The Analysis of Pine Needles as a Substrate for Gasification. *Hydro Nepal Journal of Water Energy and Environment*. 15. 10.3126/hn.v15i0.11299.
2. Fateh Talal & Richard Franck & Batiot, Benjamin & Rogaume, Thomas & Jocelyn, Luche & Zaida J. (2016). Characterization of the burning behavior and gaseous emissions of pine needles in a cone calorimeter – FTIR apparatus. *Fire Safety Journal*. 82.91-100. 10.1016/j.firesaf.2016.03.008.
3. Dorper G.A. Dynamics of forest fires. Novosibirsk: Science SB RAS, 2008. 404 p.
4. D.A. Frank-Kamenetsky. Diffusion and Heat Transfer in Chemical Kinetics. Nauka, Moscow. 1966. 491 p. 3. Fundamentals of the Practical Theory of Combustion. Ed. by V.V. Pomerantsev. Energoizdat, Leningrad, 1986. 312 p.
5. P.A. Maryandyshev. Thermogravimetric and Kinetic Study of Peat and Hydrolytic Lignin. *International Journal of Experimental Education*. 2014. No. 12. pp. 20-27. EDN: TJYAEN
6. V.Ya. Bondarev L.M. Guseva. Features of the preparation of raw materials for wood pyrolysis // *Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, 2014, Vol. 4, P.. 106-110.
7. Song J. Flaming Ignition of PMMA, PineWood, and Pine Needle by External Radiation: Autoignition and Radiant Distance Effect. *Fire* 2023, 6, 163. <https://doi.org/10.3390/fire6040163>
8. Polischuk Y.M., Kokorina N.V., Kasatkin A.M. Analysis of bioindication properties of Siberian pine to assess the impact of associated gas flaring on the environment // *Bulletin of SUSU*. 2006. No. 3 (4).
9. Loskutov S.R., Kazaryan L.K., Permyakova G.V. Pyrolysis of *Picea obovata* ledeb. needles: thermal and thermodynamic parameters, kinetics, reaction mechanisms // *Chemistry of plant raw materials*. 2025. No. 3.
10. Valeeva A.R., Valiullina A.I., Bikbulatova G.M., Bashkirov V.N. Reduction of the mass fraction of free formaldehyde in phenol-formaldehyde resins with the replacement of phenol with liquid wood pyrolysis products // *Woodworking Industry*, 2021, No. 3, P. 94-102.
11. Ofoefule, Akuzuo & Igweagwu, Jude & Ugwu, Matthias & Mgbadike, C & Chizoo, Esoneye. (2019). Effects of Pine Needle (*Pinus pinaster*) dust on the performance characteristics of subbituminous coal briquette for Energy Generation. 7. 1-6. 10.5281/zenodo.2639876.
12. Petrunina E.A., Ryazanova T.V., Aniskina A.A., Permyakova G.V., Stasova V.V. Comparative analysis of the physicochemical properties of larch and pine bark: thermal analysis and analytical pyrolysis // *Siberian Forestry Journal*, 2022, No. 4, P. 35-49.

Информация об авторах

Отари Назирович Дидманидзе, академик РАН, д-р техн. наук, профессор; ORCID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; didmanidze@rgau-msha.ru

Алексей Владимирович Евграфов, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; labpoliv@list.ru

Артёмбек Сергеевич Гузалов, канд. техн. наук; ORCID: 0000-0003-3526-4332, AuthorID: 1036988; aguzalov@mail.ru

Алексей Викторович Куриленко, канд. техн. наук; ORCID: 0000-0003-3661-1121, AuthorID: 1099301; a.kurilenko@rgau-msha.ru

Дмитрий Александрович Филимонов, канд. техн. наук; ORCID: 0009-0006-5484-5334, filimonov.dmitrii@rgau-msha.ru;

Information about the authors

Otari N. Didmanidze, Academician of the Russian Academy of Sciences, DSs (Tech), Professor; ORCID: 0000-0003-2558-0585; authorid: 311972; didmanidze@rgau-msha.ru

Alexey V. Evgrafov, DSs (Tech), Associate Professor; ORCID: 0000-0002-2313-2191, authorid: 828739; labpoliv@list.ru

Artembek S. Guzalov, CSs (Tech); Associate Professor ORCID: 0000-0003-3526-4332, authorid: 1036988; aguzalov@mail.ru

Alexey V. Kurylenko, CSs (Tech), ORCID: 0000-0003-3661-1121, authorid: 1099301; a.kurilenko@rgau-msha.ru

Dmitry A. Filimonov, CSs (Tech), ORCID: 0009-0006-5484-5334, authorid: 1251247; filimonov.dmitrii@rgau-msha.ru

Вклад авторов

О.Н. Дидманидзе – общее научное руководство исследованием, постановка проблемы и целей, разработка концепции эксперимента, координация проведения лабораторных испытаний, утверждение окончательного текста статьи.

А.В. Евграфов – разработка методологии экспериментальных исследований, привлечение финансирования (руководитель гранта РНФ № 26-16-00015), анализ полученных результатов (температурные зависимости, время зажигания), подготовка первоначального текста рукописи, формулировка выводов, визуализация данных.

А.С. Гузалов – непосредственное проведение экспериментальных исследований (работа с установкой, контейнерами К30), отбор образцов ЛГМ в Московской области, обработка первичных данных с газоанализатора и регистратора ОВЕН, участие в написании раздела «Материалы и методы».

А.В. Куриленко – подготовка образцов ЛГМ к лабораторным исследованиям, работа с литературными источниками по пожароопасности свойств ЛГМ, участие в анализе результатов и оформлении библиографического списка.

Д.А. Филимонов – техническая подготовка лабораторной установки, обеспечение работы измерительного оборудования, проведение статистической обработки результатов экспериментов, участие в визуализации данных и подготовке графических материалов.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

Поступила в редакцию / Received 06.07.2026

Поступила после рецензирования / Received 27.07.2026

Принята к публикации после доработки / Accepted 28.07.2026

Contribution of the authors

O.N. Didmanidze – overall scientific supervision of the study, formulation of the problem and objectives, development of the experimental concept, coordination of laboratory testing, approval of the final text of the article.

A.V. Evgrafov – development of the experimental research methodology, funding acquisition (manager of the Russian Science Foundation grant No. 26-16-00015), analysis of the obtained results (temperature dependencies, ignition time), preparation of the initial manuscript, formulation of conclusions, and data visualization.

A.S. Guzalov – direct conduct of the experimental research (operation of the setup and K30 containers), collection of forest fuel samples in the Moscow region, processing of primary data from the OWEN gas analyzer and recorder, participation in writing the “Materials and Methods” section.

A.V. Kurilenko – preparation of forest fuel samples for laboratory testing, review of literary sources on the fire hazard and properties of forest fuel, participation in the analysis of the results and preparation of the bibliography.

D.A. Filimonov – technical preparation of the laboratory setup, ensuring the operation of measuring equipment, conducting statistical processing of experimental results, participating in data visualization and preparing graphic materials.