

---

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)  
FIRE SAFETY (TECHNICAL)**

УДК 66.018.4  
DOI 10.48612/ntp/g811-tbak-4mfh

**ПОВЕДЕНИЕ ПОРИСТЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА**

**Ж. Ф. ГЕССЕ, С. А. ШАБУНИН, Т. В. ФРОЛОВА**

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru

В работе проведена оценка устойчивости пористого строительного материала – камня ракушечника, добываемого на территории Республики Крым, к действию температуры. Методом синхронного термического анализа проведён комплекс испытаний, направленных на изучение изменений физических и механических свойств материала при нагревании. Результаты исследования позволяют определить пределы температурной стойкости камня ракушечника и дают рекомендации по его применению в условиях, связанных с повышенными температурами. Полученные данные могут быть использованы для оценки огнестойкости строительных конструкций и обеспечения пожарной безопасности объектов защиты.

Экспериментально установлено, что наименьшая убыль массы при нагревании камней ракушечника наблюдается у менее пористых образцов, обладающих наибольшей теплопроводностью. Полученные данные согласуются с результатами работ, в которых отмечается, что образцам с более высокой пористостью соответствует большая потеря массы при нагреве до 1000 °С. Определение остаточной массы при нагревании образцов камней ракушечника позволяет сделать вывод, что образцы имеют отличающийся химический состав.

**Ключевые слова:** камни ракушечника, пористость, устойчивость к действию температуры.

**BEHAVIOR OF POROUS BUILDING MATERIALS  
UNDER THE INFLUENCE OF DANGEROUS FIRE FACTORS**

**Zh. F. GESSE, S. A. SHABUNIN, T. V. FROLOVA**

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education  
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation  
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru

The work assesses the resistance of a porous building material, shell rock, extracted in the Republic of Crimea, to temperature. A set of tests was conducted using synchronous thermal analysis to study the changes in the physical and mechanical properties of the material during heating. The results of the study determine the temperature resistance limits of shell rock and provide recommendations for its use in environments with high temperatures. These findings are crucial for ensuring the durability and reliability of building structures that utilize this material.

It has been experimentally established that the least mass loss during heating of shell rock stones is observed in less porous samples with the highest thermal conductivity. These findings are consistent with previous studies that have shown that samples with higher porosity tend to experience greater mass loss during heating up to 1000 °C. The determination of the residual mass during heating of samples of shell rock allows us to conclude that the samples have a different chemical composition.

**Key words:** seashell stones, porosity, temperature resistance

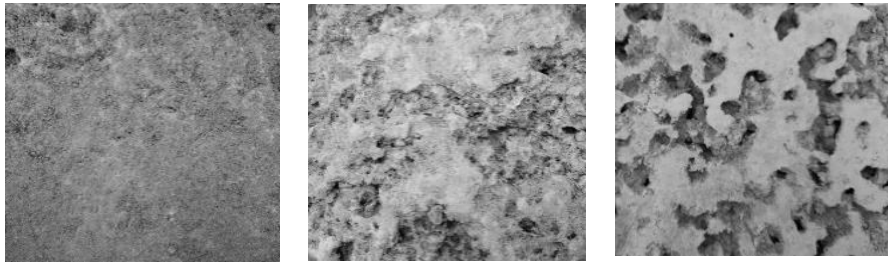
Известно, что структура, состав, а также свойства веществ и материалов под воздействием температуры претерпевают изменения, в некоторых случаях необратимые. Об этом можно судить, например, по изменению агрегатного состояния, по экспериментальным данным подтверждающим переход из одной аллотропной модификации в другую, при потере массы в результате испарения воды или термического разложения веществ, сопровождающегося выделением газообразных продуктов и т.д.

Таким образом, для каждого вещества и материала существует определенный температурный интервал, характеризующий неустойчивостью структуры, состава и свойств. Однако, в действительности температуры хранения и эксплуатации веществ (материалов) могут принимать критические значения, достижение которых будет приводить к фатальным изменениям,

делающим невозможным дальнейшее или повторное использование веществ (материалов). Это и определяет научную ценность исследований, направленных на изучение поведения веществ и материалов под воздействием температуры.

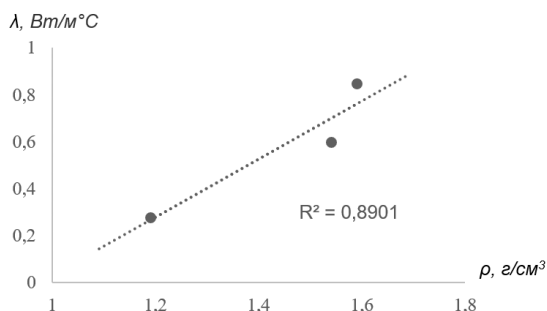
Объектами исследования в настоящей работе являются камни ракушечника М-15, М-25, М-35, добываемые на территории Республики Крым, и их поведение в условиях повышенной температуры. Выбор образцов обусловлен, с одной стороны, их доступностью при приобретении покупателями материалов, используемых в строительстве, исходя из соображений стоимости, и возможностью использования натуральных природных материалов, ввиду их экологической чистоты и безопасности.

Внешний вид исследуемых образцов приведен на рис. 1.



**Рис. 1.** Внешний вид фрагмента исследуемых образцов камней ракушечника М-15, М-25, М-35 (слева направо)

Ранее нами [1] отмечалось, что теплопроводность ( $\lambda$ ) образцов камней ракушечника увеличивается в последовательности М-15 (0,28) < М-25 (0,60) < М-35 (0,85). В таком же ряду уменьшается их пористость. Описание зависимости  $\lambda = f(\rho)$  линейной функцией (рис. 2) дает достаточно высокую величину достоверности аппроксимации, что позволяет говорить о корреляции значений теплопроводности исследуемых образцов и их средней плотности.



**Рис. 2.** Зависимость теплопроводности исследуемых образцов камней ракушечника от значений их средней плотности

Исследование процесса термического поведения образцов камней ракушечника производили методом синхронного термического анализа, позволяющего совместить термогравиметрический анализ и дифференциальную сканирующую калориметрию. Эксперимент выполняли на термическом анализаторе Setsys Evolution 16 в интервале температур 70–1050 °С в азотно-кислородной атмосфере. Содержание кислорода в газовой среде составляло ~ 20 %, что обеспечивало имитацию процесса, протекающего в воздухе. Скорость нагрева составляла 5 °С/мин.

Экспериментальные данные приведены на рис. 3–7. Воспроизводимость результатов проверялась проведением серии трех-четырёх параллельных испытаний для каждого образца.

ТГ-кривые всех образцов камней ракушечника (рис. 3) до температуры ~ 275 °С совпадают. Выше этой температуры ТГ-кривая камня ракушечника М-35 располагается несколько ниже ТГ-кривых камней ракушечника М-15 и М-25, практически накладывающихся друг на друга до достижения температуры ~ 800 °С. Исходя из данных рис. 3, можно оценить примерные значения интервала

температур, в котором происходит разложение образцов. Так температура начала термического разложения камня ракушечника М-35 составляет ~ 700 °С, а для камней ракушечника М-15 и М-25 она немного выше (~ 730 °С). Температура окончания процесса термического разложения минимальна для камня ракушечника М-35 (~ 860 °С), максимальна – для М-15 (~ 890 °С), промежуточное значение принимает для М-25 (~ 880 °С).

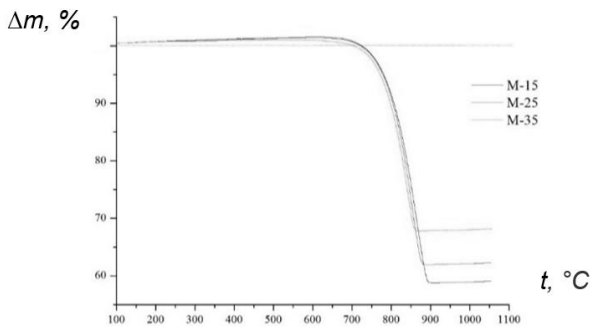


Рис. 3. ТГ-кривые образцов камней ракушечника

Величина потери массы образцов растет в ряду М-35 < М-25 < М-15. В таком же ряду происходит увеличение пористости. Полученные данные согласуются с результатами работы [2]. Авторы отмечают, что образцам с более высокой пористостью соответствует большая потеря массы при нагреве до 1000 °С. Пористость материала отражает степень заполнения его объема порами. Неоднородная пористая микроструктура камня ракушечника предполагает наличие изолированных и связанных между собой пор. При нагревании воздух в порах расширяется, создавая при этом дополнительное внутреннее давление, что, вероятно, способствует большему разрушению материала.

ТГ-кривые, приведенные на рис. 3, имеют одну ступень, что дает возможность на данном этапе говорить о протекании только одного процесса разложения. Основным компонентом камня ракушечника – известняк, термический распад которого описывается следующей химической реакцией:



Повышение температуры будет приводить к увеличению скорости эндотермического процесса.

Различия в значениях остаточной массы исследуемых образцов и в их поведении

при нагревании определяются количеством примесей в камнях ракушечника. Очевидно, что при одинаковом химическом составе исследуемых образцов характеристики ТГ-кривых были бы практически одинаковы, поскольку используемые методы исследования учитывают именно химический состав материала, а не его структуру. Логично сделать предположение, что образцы камней ракушечника имеют отличающийся химический состав. Это могут быть вещества, не разлагающиеся в изученном температурном интервале, но влияющие на физико-механические и прочностные свойства камней ракушечника.

На рис. 4 обобщены ДТГ-кривые, отражающие скорость убыли массы исследуемых образцов.

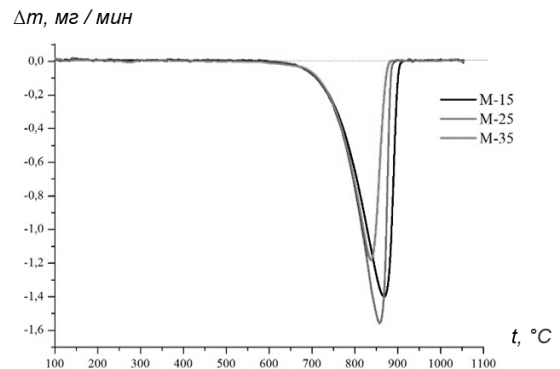


Рис. 4. ДТГ-кривые образцов камней ракушечника

Из данных, приведенных на рис. 5–7, следует, что температура максимальной убыли массы составляет 838,59 °С, 860,32 °С и 867,12 °С для камней ракушечника М-35, М-25, М-15 соответственно. Максимальная скорость убыли массы, соответствующая пикам на ДТГ-кривых, для образцов М-35, М-25 и М-15 принимает следующие значения 1,18 мг/мин, 1,59 мг/мин, 1,40 мг/мин.

Интервалы термического разложения для камней ракушечника М-15, М-25, М-35 составляют 150, 160 и 160 °С соответственно. Чем шире эти границы, тем ниже скорость убыли массы исследуемых образцов.

Наличие эндотермических пиков на рис. 5–7 указывает на то, что при нагреве до температуры 1000 °С происходит разрушение камней ракушечника, в ходе которого можно выделить два (образцы М-15, М-25) или три (образец М-35) различных процесса. Последнее еще раз указывает на отличия в химическом составе образцов.

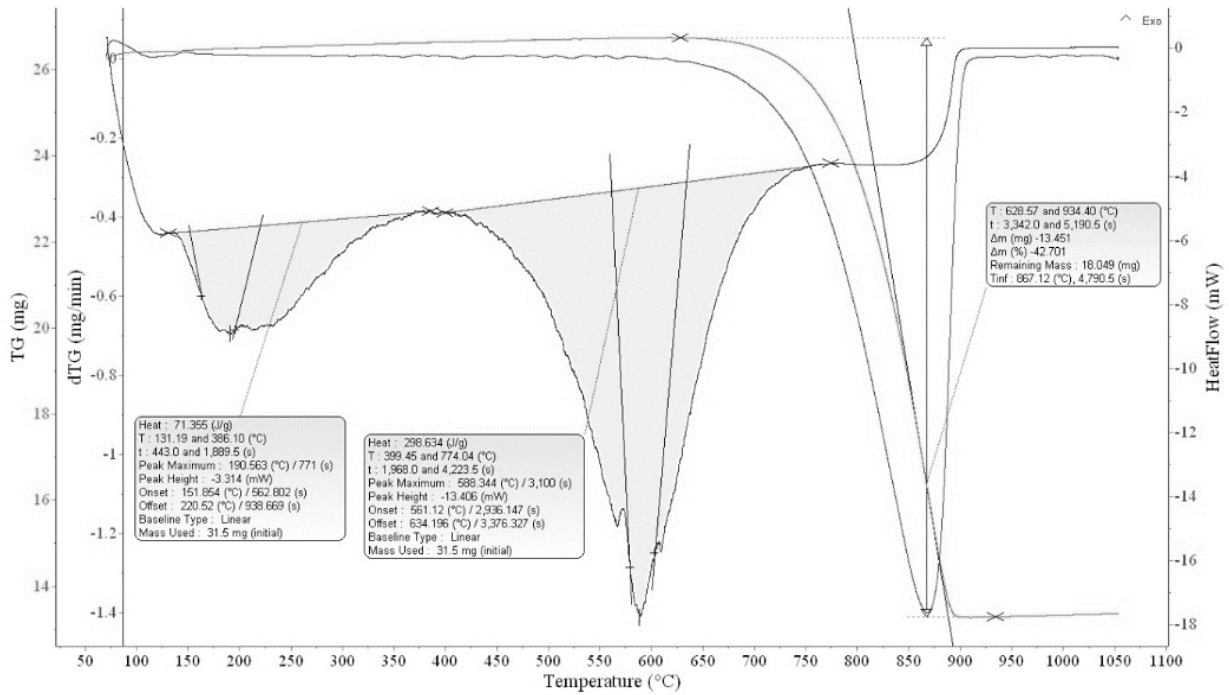


Рис. 5. Результаты синхронного термического анализа образца камня ракушечника М-15

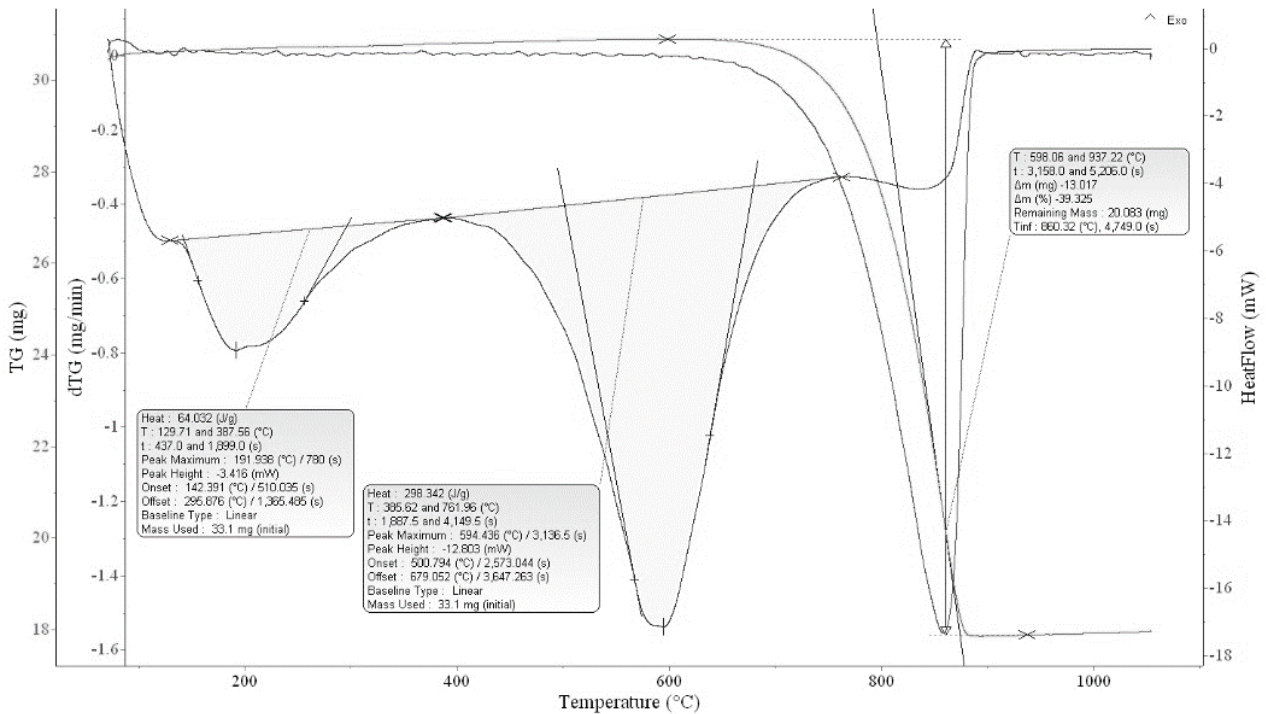


Рис. 6. Результаты синхронного термического анализа образца камня ракушечника М-25

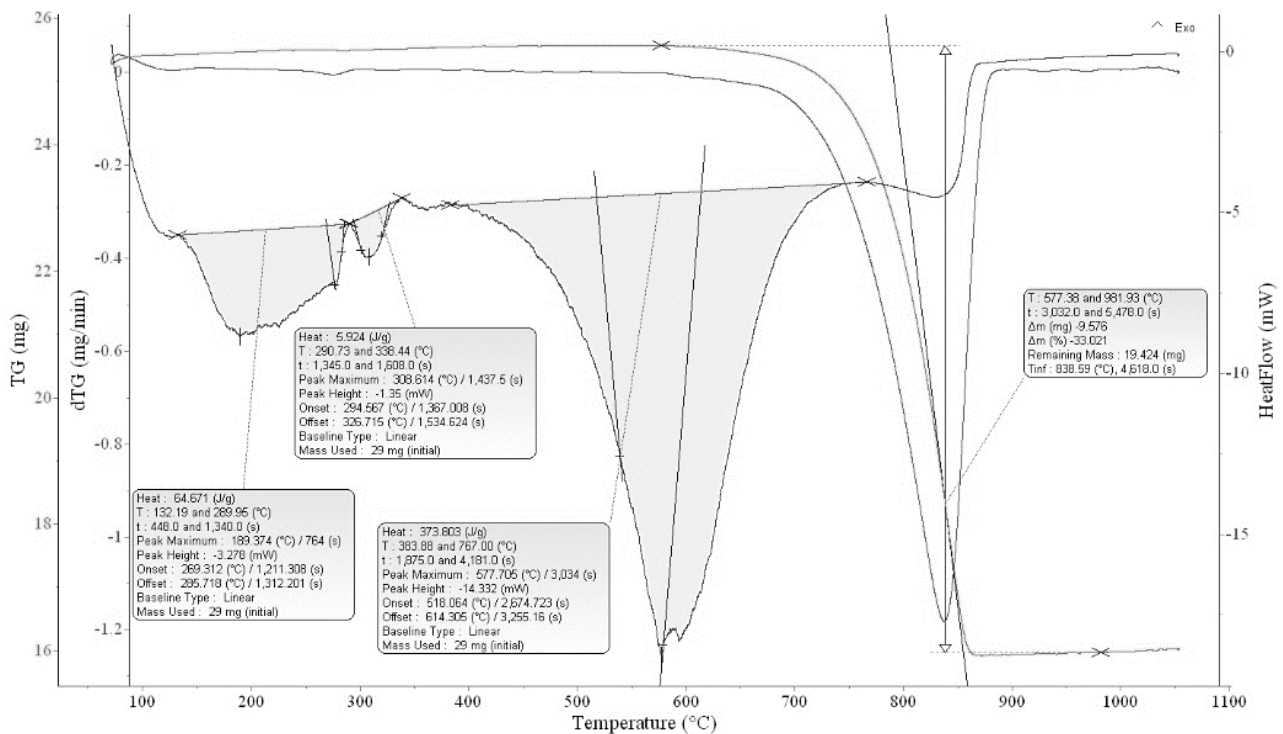


Рис. 7. Результаты синхронного термического анализа образца камня ракушечника М-35

В литературе данные о температуре начала разложения карбоната кальция несколько разнятся: в [3] приводится интервал значений 500–750 °С, а в [4] указывается значение температуры 600 °С и выше. В литературе [5] отмечено, что на температуру разложения природных карбонатов кальция оказывает влияние их степень дисперсности. Полное разложение карбоната кальция происходит при температуре ~ 900 °С [6]. Крайние пики с правой стороны на ДТГ-кривых (рис. 5–7), по всей видимости, характеризуют именно процесс разложения карбоната кальция.

Уменьшение массы образцов, наличие эндотермических пиков в интервале температур 130–390 °С, скорее всего, связано с удалением воды, которая, например, в случае карбонатного сырья может быть и свободной, и адсорбированной [7], с разложением примесей. Так, результаты химического анализа [8] показывают, что содержание карбоната кальция в камнях ракушечников может достигать значения 98 %, остальное – примеси, поэтому химический состав камней ракушечников отличается.

Таким образом, процесс термического разложения камней ракушечника определяется реакцией разложения основного компонента – карбоната кальция. Продуктом реакции

является оксид кальция, имеющий рыхлую пористую структуру. Как было отмечено ранее, различия в остаточной массе образцов камней ракушечника после воздействия температур до 1050 °С можно объяснить присутствием веществ, неразлагаемых при данных температурах.

Согласно литературным данным [4], оксид кальция характеризуется малой теплопроводностью, поэтому на поверхности образцов камней ракушечника может создаваться теплозащитный слой, затрудняющий дальнейший прогрев материала в глубину. Воздействие повышенных температур приводит к разрушению камней ракушечника, которое носит необратимый характер. Повышение температуры сначала приводит к некоторому увеличению прочности материала, а при достижении температуры ~ 600 °С – ее снижению.

О потере прочности исследуемых образцов камней ракушечника можно судить по величине потери массы исследуемых образцов. В реальных условиях при нагревании блоков из камней ракушечника данная зависимость может отличаться от прямопропорциональной, например, из-за наличия микротрещин, неоднородности материала, неравномерности прогрева и т.д. Можно предположить, что большую устойчивость к действию температуры будет иметь образец, который медленнее теряет

массу. Результаты, полученные нами ранее [1], и сравнительный анализ кривых (рис. 4) показывают, что образец камня ракушечника М-35 при температурном воздействии характеризуется меньшей потерей массы и, вероятно, прочностью. По всей видимости, в условиях повышенных температур (и в условиях пожара) самым устойчивым к разрушению будет камень ракушечник М-35, а наименее устойчивым – камень ракушечник М-15. Устойчивость образцов каменной ракушечника к действию повышенных температур, вероятно, определяется скоростью их

разложения. Повышение температуры начала термического разложения в случае камня ракушечника М-15 не приводит к увеличению способности противостоять воздействию температуры. При этом образец камня ракушечника М-15 будет обладать более высокими теплоизолирующими свойствами, что немаловажно для предотвращения распространения тепла в условиях пожара. Это объясняется, в том числе его более высокой пористостью по сравнению с другими исследуемыми образцами.

### Список литературы

1. Гессе Ж. Ф., Фролова Т. В., Шабунин С. А. Оценка устойчивости природных материалов, используемых при строительстве объектов защиты, к воздействию опасных факторов пожара // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 87–90.

2. Гуняев Г. М., Гофин М. Я. Углерод-углеродные композиционные материалы // Авиационные материалы и технологии. 2013. № S1. С. 62–90.

3. Особенности поведения при обжиге композиций из кальций- и кремнеземсодержащего сырья / Р. А. Арискина, К. А. Арискина, А. Р. Валимухаметова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 6. С. 23–25.

4. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре / В. Н. Демехин, И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. 656 с.

5. Табунщиков Н. П. Производство извести. М.: «Химия». 1974. 240 с.

6. Монастырев А. В. Производство извести. М.: «Высшая школа». 1971. 272 с.

7. Питак И. В., Шаповров В. П., Васильев М. И. Исследование процесса термического разложения мелкодисперсного карбонатного сырья и некоторых свойств продукта обжига // Технологический аудит и резервы производства. 2015. Т. 5. № 4 (25). С. 49–56.

8. Мещеряков С. В., Потулов О. Е. Известняк-ракушечник Мангышлака и Устюрта. Издательство «Наука» Казахской ССР. 1974. 93 с.

zashchity, k vozdeystviyu opasnykh faktorov pozhara [Assessment of the resistance of natural materials used in the construction of protection facilities to the effects of fire hazards]. *Sovremennye požarobezopasnye materialy i tekhnologii: sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo, Ivanovskaya požarno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2025, pp. 87–90.

2. Gunyaev G. M., Gofin M. Ya. Uglерod-uglerodnye kompozicionnye materialy [Carbon-carbon composite materials]. *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, 2013, issue S1, pp. 62–90.

3. Osobennosti povedeniya pri obzhige kompozicij iz kal'cij- i kremnezemsoderzhashchego syr'ya [Features of behavior during firing of calcium- and silica-containing raw materials] / R. A. Ariskina, K. A. Ariskina, A. R. Valimukhmetova [et al.]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2017, vol. 20, issue 6, pp. 23–25.

4. Zdaniya, sooruzheniya i ikh ustojchivost' pri pozhare [Buildings, structures, and their fire resistance] / V. N. Demekhin, I. L. Mosalkov, G. F. Plyusnina [et al.]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2003. 656 p.

5. Tabunshchikov N. P. *Proizvodstvo izvesti* [Lime production]. Moscow: «Khimiya», 1974. 240 p.

6. Monastyrev A. V. *Proizvodstvo izvesti* [Lime production]. Moscow: «Vysshaya shkola», 1971. 272 p.

7. Pitak I. V., Shaporev V. P., Vasil'ev M. I. Issledovanie processa termicheskogo razlozheniya melkodispersnogo karbonatnogo syr'ya i nekotorykh svojstv produkta obzhiga [Study of the process of thermal decomposition of fine-grained carbonate raw materials and some properties of the firing product]. *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, 2015, vol. 5, issue 4 (25), pp. 49–56.

8. Meshcheryakov S. V., Potulov O. E. *Izvestnyak-rakushechnik Mangyshlaka i Ustyurta* [Limestone-shell rock of Mangyshlak and Ustyurt]. Izdatel'stvo «Nauka» Kazakhskoj SSR, 1974. 93 p.

### References

1. Gesse Zh. F., Shabunin S. A., Frolova T. V. Ocenka ustojchivosti prirodnykh materialov, ispol'zuemykh pri stroitel'stve ob'ektov

*Гессе Женни Фердинандовна*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

*Gesse Zhenni Ferdinandovna*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

*Шабунин Сергей Александрович*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса «Государственный надзор»

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

*Shabunin Sergey Aleksadrovich*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, Research Associate of Research Department of Educational and Scientific Complex «State Supervision»

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

*Фролова Татьяна Владиславовна*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: frolovatanja@mail.ru

*Frolova Tatiana Vladislavovna*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of Chemical Sciences, senior lecturer

E-mail: frolovatanja@mail.ru