

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ПОВЕДЕНИЯ УРАНА ПРИ НАГРЕВАНИИ  
РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА В АЗОТЕ И ВОЗДУХЕ  
COMPARATIVE THERMODYNAMIC ANALYSIS  
BEHAVIOR OF URANIUM IN HEATING  
RADIOACTIVE GRAPHITE IN NITROGEN AND AIR**

**О.А. Човишян**, курсант,

**М.Р. Шавалеев**, кандидат химических наук, преподаватель,

**А.В. Пешков**, кандидат технических наук,

Уральский институт ГПС МЧС России

(Екатеринбург, ул. Мира, 22)

*Рецензент:* И.А. Кайбичев, профессор, доктор физико-математических наук

**Аннотация**

С целью оптимизации переработки радиоактивного графита в статье проведен сравнительный термодинамический анализ поведения урана при нагревании радиоактивного графита в азоте и воздухе. Термодинамическое моделирование проведено с использованием программного комплекса ТЕРРА.

**Ключевые слова:** термодинамическое моделирование, радионуклиды, радиоактивный графит, переработка, сравнительный анализ.

**Abstract**

In order to optimize the processing of radioactive graphite, a comparative analysis of the behavior of uranium during the heating of radioactive graphite in nitrogen and air was carried out. Thermodynamic modeling was carried out using the TERRA software.

**Keywords:** thermodynamic modeling, radionuclides, radioactive graphite, processing, comparative analysis.

**Цель и методика исследования.** В данной работе изучалось поведение урана при нагревании (горении) радиоактивного графита в атмосферах азота и воздуха. Исследования проводили методом термодинамического моделирования, которое успешно использовалось для изучения неорганических веществ при высоких температурах [1-34].

Термодинамическое моделирование заключается в термодинамическом анализе равновесного состояния систем в целом (полный термодинамический анализ). Под термо-

динамическими системами понимаются условно выделенные материальные области, взаимодействие которых с окружающей средой сводится к обмену теплом и работой. Равновесие систем в соответствии со вторым законом термодинамики характеризуется максимумом энтропии.

Программный комплекс ТЕРРА, с помощью которого проводилось термодинамическое моделирование рассматриваемых систем, предусматривает задание условий равновесия термодинамической системы с окружающей средой любой парой термодинамических параметров из числа следующих:  $P$  (давление),  $V$  (удельный объем),  $T$  (температура),  $S$  (энтропия),  $H$  (энтальпия),  $U$  (внутренняя энергия), а также проведение равновесного расчета термодинамической системы произвольного элементного состава, включение в число ожидаемых компонентов равновесного состава любых индивидуальных веществ за счет изменения только исходных данных, определение равновесного фазового состава системы без предварительного указания термодинамически допустимых состояний. Таким образом, для определения конкретных параметров состояния системы необходимо задать две ее характеристики (например:  $P$  и  $T$ ,  $V$  и  $T$ ,  $H$  и  $P$  и т. д.), массовое содержание химических элементов в рабочем теле, список потенциально возможных для равновесного состава индивидуальных веществ с их термодинамическими функциями – энтропией и энтальпией. В программном комплексе ТЕРРА предусмотрена также возможность учета некоторых неидеальностей: исключение из числа компонентов равновесного состава любых индивидуальных веществ; назначение (фиксирование) концентрации одного или нескольких веществ с последующим расчетом равновесного состояния по оставшейся части системы; рассмотрение неидеальных конденсированных растворов путем задания избыточной энергии Гиббса; учет собственного объема, занимаемого конденсированными веществами [17].

Расчеты состава фаз и характеристик равновесия проводились с использованием справочной базы данных по свойствам индивидуальных веществ ИВТАНТЕРМО и HSC.

В расчетах учитывались компоненты с концентрацией не менее  $10^{-10}$  моль. Временем, которое требуется для изменения фазового состояния, газообменом с окружающей средой и скоростью протекания реакции пренебрегаем, давление одна техническая атмосфера ( $P \approx 10^5$  Па). Температурный интервал рассматривался от 373 до 1600 К.

В данной работе ограничимся сравнительным анализом поведения только одного элемента – урана, ниже представлены его основные физические свойства.

Уран очень тяжелый, серебристо-белый глянцеватый металл. В чистом виде он немного мягче стали, ковкий, гибкий, обладает небольшими парамагнитными свойствами. Уран имеет три аллотропные формы: альфа (призматическая, стабильна до 667.7 °С), бета

(четырёхугольная, стабильна от 667.7 до 774.8 °С), гамма (с объёмно центрированной кубической структурой, существующей от 774.8 °С до точки плавления). Температура плавления урана 1132.2 °С, температура кипения 3818 °С, плотность 18.95 г/см<sup>3</sup> (в альфа-фазе). Химически уран очень активный металл, быстро окисляется на воздухе. Уран растворяется в соляной, азотной и других кислотах, образуя четырехвалентные соли, зато не взаимодействует с щелочами. Уран имеет четыре степени окисления – III-VI.

Уран имеет 14 изотопов, при этом только три из них встречаются в радиоактивном графите, они приведены в табл.2.

Таблица 2

**Состав изотопов урана и период их полураспада**

Изотоп	Период полураспада
U-235	710 млн. лет (альфа-распад)
U-236	23,4 млн. лет (бета-распад)
U-238	4.51 млрд. лет (альфа-распад)

В таблице 3 представлены возможные формы и соединения существования урана, заложенные в программный пакет Терра для проведения расчетов.

Таблица 3

**Формы существования радионуклидов в графите и равновесной системе**

Радионуклид в графите	Тип соединения в равновесной системе
<sup>238</sup> U, <sup>236</sup> U, <sup>235</sup> U	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , UO <sub>3</sub> , UO <sub>2</sub> , U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , U, U <sub>(г)</sub> , UCl <sub>(г)</sub> , UCl <sub>2(г)</sub> , UCl <sub>3</sub> , UCl <sub>3(г)</sub> , UCl <sub>4</sub> , UCl <sub>4(г)</sub> , UCl <sub>5</sub> , UCl <sub>5(г)</sub> , UCl <sub>6(г)</sub> , UO, UO <sub>(г)</sub> , UO <sub>2</sub> , UO <sub>2(г)</sub> , UO <sub>3</sub> , UO <sub>3(г)</sub> , U <sub>3</sub> O <sub>7</sub> , U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , U <sub>4</sub> O <sub>9</sub> , UOCl, UOCl <sub>2</sub> , UO <sub>2</sub> Cl, UO <sub>2</sub> Cl <sub>2(г)</sub> , UO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , UO <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaUO <sub>3</sub> , NaUO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> UO <sub>4</sub> , UC, U <sub>2</sub> C <sub>3</sub> , UC <sub>2</sub> , U <sup>+</sup> <sub>(г)</sub>

Примечание: (г) – газообразное соединение; без индекса – конденсированное соединение.

**Результаты исследований.** По данным проведенного термодинамического моделирования были построены балансы распределения урана в рассматриваемых температурных интервалах.

Распределение урана в системе радиоактивный графит – атмосфера азота представлено на рис. 1. Видно, что до температуры 773 К уран находится в конденсированной фазе в виде карбидов UC, UC<sub>2</sub>, U<sub>2</sub>C<sub>3</sub> и хлорида UCl<sub>3</sub>. Дальнейшее нагревание системы от 773 до 1073 К приводит к снижению концентрации конденсированного UCl<sub>3</sub> с одновременным образованием и ростом содержания газообразных UCl<sub>4</sub> (773 - 973 К) и UCl<sub>3</sub> (более 873 К). В интервале от 1073 - 1600 К в рассматриваемой системе содержание газообразного UCl<sub>4</sub>

снижается до нуля с одновременным ростом концентрации  $UCl_3$ , содержание карбидов  $UC$ ,  $UC_2$  и  $U_2C_3$  изменяется незначительно.

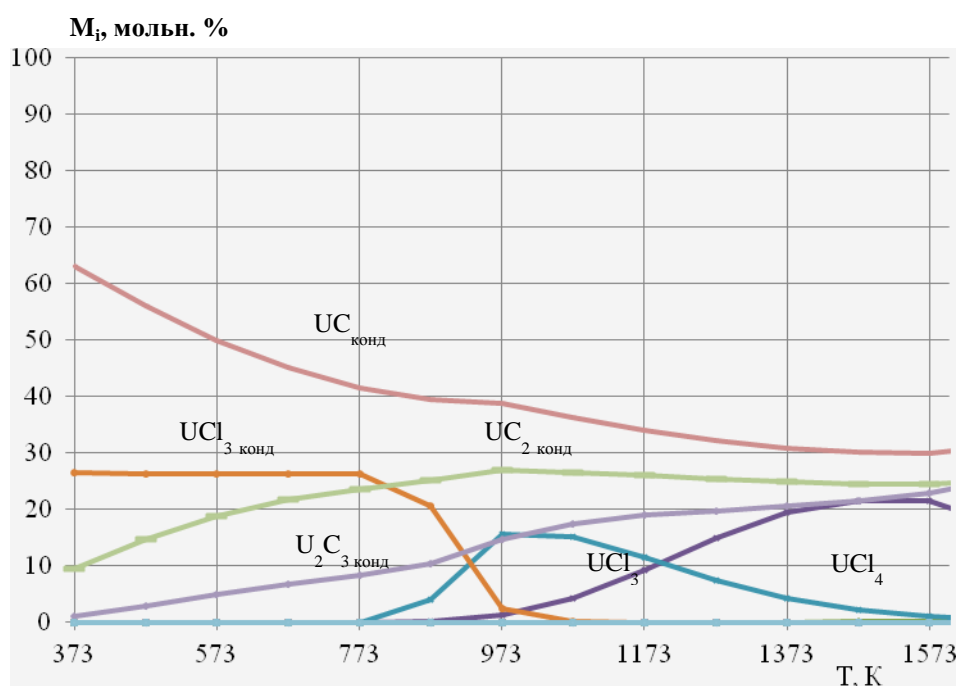


Рис. 1. Распределение урана по фазам в системе радиоактивный графит - атмосфера азота

Распределение урана по фазам в системе радиоактивный графит – атмосфера воздуха представлено на рис. 2. В температурном интервале 373 – 700 К уран находится в виде твердых фаз  $UO_2$ ,  $UOCl_2$ ,  $UOCl$ . Повышение температуры до 1100 К вызывает появление газообразного  $UCl_4$ , доля которого достигает ~12%, и уменьшение до нуля конденсированного  $UOCl_2$ . Дальнейшее повышение температуры до 1300 К ведет к исчезновению газовой фазы  $UCl_2$ , уменьшению практически до нуля конденсированный  $UOCl$ , уран находится в виде фазы конденсированного  $UO_2$ . В температурном интервале от 1300 до 1600 К практически весь уран находится в виде конденсированного  $UO_2$ .

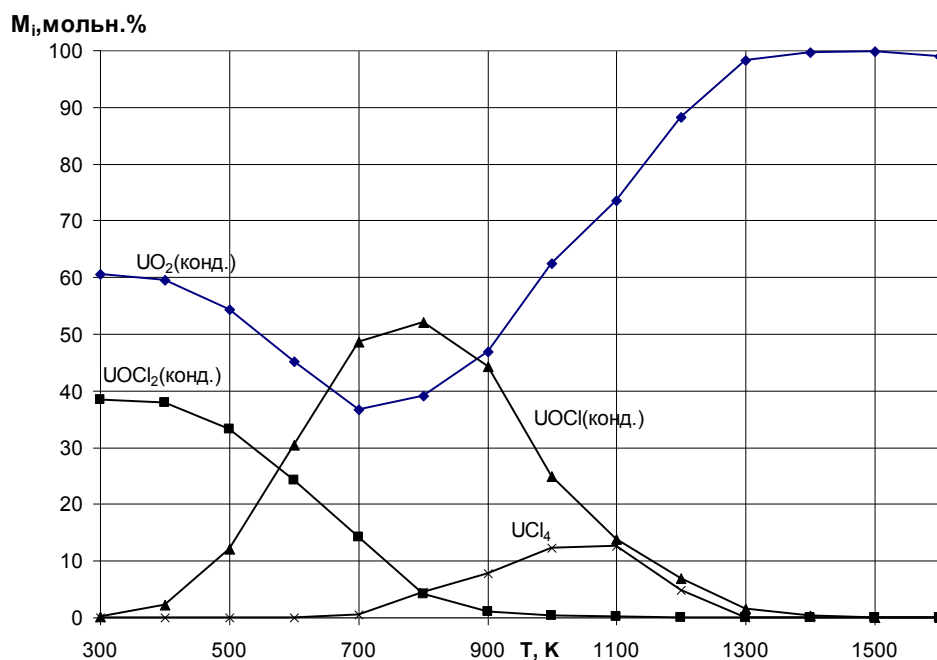


Рис. 2. Распределение урана по фазам в системе радиоактивный графит – атмосфера воздуха

### Выводы и рекомендации

Результаты проведенного термодинамического моделирования нагревания радиоактивного графита от 373 до 1600 К в атмосферах азота и воздуха позволяют сделать следующие выводы:

- в системах наблюдается образования газообразных соединений урана только в виде хлоридов  $UCl_3$ ,  $UCl_4$  (для атмосферы азота) и  $UCl_4$  (для атмосферы воздуха);
- в атмосфере азота уран в конденсированной фазе образует соединения в виде карбидов  $UC$ ,  $UC_2$ ,  $U_2C_3$  и хлорида  $UCl_3$ ;
- в атмосфере воздуха уран в конденсированной фазе образует сложные соединения в виде  $UOCl_2$ ,  $UOCl$  и диоксида урана  $UO_2$ .

Полученную информацию поведения урана в системах предполагается использовать в технологических процессах переработки радиоактивного графита для выбора систем фильтрации отходящих газов и оценки остающегося шлака в печи (установки).

Наряду с успешно применяемыми теоретическими и экспериментальными методами [35-61] термодинамическое моделирование позволяет оценить поведение веществ при нагреве в различных атмосферах.

### Библиографический список

1. Барбин Н.М., Кобелев А.М., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в парах воды // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 10. С. 38-47.
2. Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Борисенко А.В., Алексеев С.Г. Термодинамическое исследование состава газовой фазы над расплавами системы Pb + Bi // Перспективные материалы. 2011. № 13. С. 858-864.
3. Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Борисенко А.В., Алексеев С.Г. Состав и теплофизические свойства системы расплав (Pb+Bi) - пар при различных условиях // Прикладная физика. 2012. № 3. С. 32-38.
4. Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Борисенко А.В., Алексеев С.Г., Попель П.С. Термодинамическое моделирование испарения расплавов Pb + Bi при различных давлениях // Химическая физика и мезоскопия. 2011. Т. 13. № 3. С. 350-355.
5. Барбин Н.М. Термодинамическое моделирование термического поведения расплавов  $\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$  // Химическая физика и мезоскопия. 2008. Т. 10. № 3. С. 354-360.
6. Барбин Н.М., Тикина И.В., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Термодинамическое моделирование паровой фазы при испарении расплавленного сплава вуда при различных давлениях // Прикладная физика. 2014. № 3. С. 12-16.
7. Barbin N., Terentiev D., Alexeev S., Barbina T. Thermodynamic modeling of the Pb + Bi melt evaporation under various pressures and temperatures // Computational Materials Science. 2013. Т. 66. Pp. 28-33.
8. Барбин Н.М., Алексеев С.Г., Алексеев К.С. Применение термодинамического моделирования для изучения полимеров при нагревании // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 8 (145). С. 245-247.
9. Barbin N.M., Terentiev D.I., Alexeev S.G., Barbina T.M. Thermodynamic analysis of radioactive graphite reprocessing by incineration in air and oxidation in molten salt // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2014. Т. 299. № 3. С. 1747-1757.
10. Барбин Н.М., Овчинникова И.В., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Термодинамическое моделирование термических процессов происходящих в расплавленном сплаве вуда при различных условиях // Прикладная физика. 2014. № 3. С. 8-11.

11. Kolbin T.S., Barbin N.M., Terentev D.I., Alekseev S.G. The behaviour of eu, pu, am radionuclide at burning radioactive graphite in an oxygen atmosphere. computer experiments // В сборнике: EPJ Web of Conferences 2015. С. 01013.

12. Колбин Т.С., Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Алексеев С.Г. Поведение Eu, Pu, Am при горении радиоактивного графита в среде кислорода при различных давлениях // Техносферная безопасность. 2013. № 1. С. 30-36.

13. Кобелев А.М., Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Алексеев С.Г., Опарин И.Д. Термодинамическое моделирование поведения урана, плутония и америция при горении радиоактивного графита в парах воды // Техносферная безопасность. 2014. № 1 (2). С. 34-39.

14. Колбин Т.С., Терентьев Д.И., Барбин Н.М., Алексеев С.Г. Поведение Eu, Pu, U при нагреве радиоактивного графита в среде аргона при различных давлениях // Техносферная безопасность. 2014. № 1 (2). С. 40-45.

15. Barbin N. M. Thermodynamic simulation of the oxidation of radioactive graphite in the  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-NiO}$  and  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-CuO}$  melts / N. M. Barbin, M. R. Shavaleev, D. I. Terent'ev, S. G. Alekseev // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2017, No. 2, Pp. 136–145.

16. Барбин Н.М., Шавалеев М.Р., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Термодинамическое моделирование окисления радиоактивного графита в расплавах  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-NiO}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-CuO}$  // Расплавы. № 1. 2017. – С. 18 – 30.

17. Барбин Н.М., Шавалеев М.Р., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Термодинамический анализ физико-химических процессов с участием U, Pu, Am, Eu при нагреве радиоактивного графита в атмосфере азота // Физика и химия обработки материалов, № 5, 2016. С. 83 – 89.

18. Шавалеев М. Р., Барбин Н. М., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамический анализ переработки радиоактивного графита в расплаве  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-Li}_2\text{CO}_3\text{-CuO}$  в атмосфере азота // Материалы V международной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – Волгоград: ВолгГТУ, Т.1, 2016. С. 235 – 327.

19. Барбин Н. М., Шавалеев М. Р., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Компьютерное моделирование термодинамических процессов с участием актиноидов при нагреве радиоактивного графита в атмосфере азота // Прикладная физика. № 6. 2015. С. 42 – 47.

20. Барбин Н.М., Шавалеев М.Р., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Компьютерный анализ равновесий в сложной системе  $\text{Be-Ni-Ca-Sr-Cs-C-Cl-N}_2$  // Конденсированные среды и межфазные границы. Т. 17. № 3. 2015. С. 281 – 296.

21. Барбин Н.М., Шавалеев М.Р., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Поведение урана и углерода при нагревании радиоактивного графита в атмосфере азота. Термодинамическое

моделирование // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58 № 5. С 34 – 36.

22. Шавалеев М.Р., Барбин Н.М., Дальков М.П. и др. Переработка радиоактивного графита ядерных энергетических установок, вывод из эксплуатации // Техносферная безопасность. 2015. - № 1 (6). С 47 – 51.

23. Шавалеев М.Р., Барбин Н.М., Дальков М.П. и др. Уменьшение количества радиоактивного графита и степени загрязнения окружающей среды // Техносферная безопасность. 2014. № 4 (5). С 50 – 52.

24. Барбин Н.М., М.Р. Шавалеев, Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере азота // Пожаровзрывобезопасность. 2014. №12. С 34 – 44.

25. Шавалеев М. Р., Барбин Н. М., Дальков М. П., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения америция, цезия и стронция при нагревании радиоактивного графита в среде азота // Техносферная безопасность. 2014. № 2 (3). С 73 – 76

26. Барбин Н.М., Терентьев Д.И., Пешков А.В., Алексеев С.Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере воздуха // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 3. С. 58-67.

27. Барбин Н.М., Терентьев Д.И., Пешков А.В., Алексеев С.Г. Сравнительный термодинамический анализ процессов переработки радиоактивного графита сжиганием в атмосфере воздуха и окислением в солевом расплаве // Расплавы. 2013. № 4. С. 25-35.

28. Пешков А.В., Замятин В.М., Барбин Н.М. Термический анализ процесса переработки радиоактивного графита // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Физика. 2013. № 20. С. 52-58

29. Пешков А.В., Барбин Н.М. Тепловые процессы, происходящие при переработке радиоактивного графита в расплаве  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-Li}_2\text{CO}_3\text{-PbO}$  // Естественные и технические науки. 2015. № 4 (82). С. 218-220.

30. Мишуткина А.А., Пешков А.В. Термодинамическое моделирование поведения стронция при сжигании радиоактивного графита в атмосфере воздуха // Аграрное образование и наука. 2017. № 3. С. 29.

31. Поддубная С.Ю., Пешков А.В. Термодинамическое моделирование поведения кальция при сжигании радиоактивного графита в атмосфере воздуха // Аграрное образование и наука. 2017. № 3. С. 32.



32. Човшиян О.А., Пешков А.В. Термодинамическое моделирование поведения хлора при сжигании радиоактивного графита в атмосфере воздуха // Аграрное образование и наука. 2017. № 3. С. 42.

33. Барбин Н.М., Сидаш И.А., Терентьев Д.И., Алексеев С.Г. Компьютерное моделирование термических процессов с участием радионуклидов кальция, стронция и цезия при нагреве радиоактивного графита в атмосфере углекислого газа // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2017. № 1. С. 73-82.

34. Барбин Н.М. Термодинамическое моделирование термического поведения расплавов  $\text{Li}_2\text{CO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{CaCO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3$  // Химическая физика и мезоскопия 2008 № 3. С. 354-360.

35. Смирнов В.В., Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Животинская Л.О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 4. С. 13-21.

36. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Авдеев А.С., Пищальников А.В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 18. № 2. С. 20-23.

37. Алексеев С.Г., Пищальников А.В., Левковец И.А., Барбин Н.М. О пожароопасности водных растворов этанолов // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 5. С. 31-33.

38. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 5. С. 35-41.

39. Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Животинская Л.О., Барбин Н.М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (Часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 5. С. 9-19.

40. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Алексеев К.С., Барбин Н.М. Температура вспышки. Часть III. Методы расчета через температуру кипения // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 3. С. 30-43.

41. Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Тимашев С.А., Гурьев Е.С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409-01 // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 1. С. 21-27.

42. Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Температура вспышки. Часть IV. Дескрипторный метод расчета // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 5. С. 18-37.

43. Рудаков О.Б., Алексеев С.Г., Бердникова Н.В., Калач А.В., Барбин Н.М. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 1. С. 57-60.

44. *Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С., Орлов С.А.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 9. С. 9-16.

45. *Смирнов В.В., Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Животинская Л.О.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIII. Тиоспирты // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 8. С. 15-25.

46. *Смирнов В.В., Алексеев С.Г., Барбин Н.М.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIV. Алкиламины // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 9. С. 27-37.

47. *Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Гурьев Е.С.* Сравнительный анализ методик прогнозирования последствий взрывов газопаровоздушных смесей // Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10. № 4. С. 12-19.

48. *Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Тимашев С.А., Гурьев Т.С.* Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039-96 // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 5. С. 37-47.

49. *Алексеев К.С., Алексеев С.Г., Барбин Н.М.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. Часть XXII. Диалкилкарбонаты // Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 45. № 1. С. 93-100.

50. *Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Смирнов В.В.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 12. С. 22-24.

51. *Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Гурьев Е.С.* Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VIII. Сравнение методов Дорофеева, РД 03-409-01 и BST2 // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 3. С. 6-12.

52. *Алексеев С.Г., Кошелев А.Ю., Барбин Н.М., Спиридонов М.А.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIX. Нитроацетаты // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 7. С. 17-27.

53. *Алексеев С.Г., Гурьев Е.С., Барбин Н.М.* Еще раз о сравнении методик прогнозирования последствий взрывов топливно-воздушных смесей // Проблемы анализа риска. 2015. Т. 12. № 2. С. 56-70.

54. *Алексеев С.Г., Пищальников А.В., Барбин Н.М., Левковец И.А.* Влияние внешних условий хранения водки на ее показатели пожаровзрывоопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 3. С. 22-28.

55. *Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Тимашев С.А., Гурьев Е.С.* Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VI. Т1ЧО-МЕТОДЫ (Часть 1) // *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Т. 22. № 7. С. 22-29.

56. *Алексеев К.С., Барбин Н.М., Калач А.В., Калач Е.В.* Применение дескрипторного метода QSPR для прогнозирования температуры вспышки спиртов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. Т. 23. № 1. С. 21-24.

57. *Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Авдеев А.С., Пищальников А.В., Орлов С.А., Уломский Е.Н.* Показатели пожаровзрывоопасности противовирусного препарата триазавирина и полупродуктов его синтеза // *Пожаровзрывобезопасность*. 2008. Т. 17. № 3. С. 46-48.

58. *Алексеев С.Г., Левковец И.А., Рыжков О.В., Артемьев Г.А., Барбин Н.М., Пищальников А.В., Котовская С.К.* Показатели пожаровзрывоопасности основных полупродуктов в синтезе антибактериального препарата левофлоксацина // *Пожаровзрывобезопасность*. 2010. Т. 19. № 5. С. 34-36.

59. *Алексеев С.Г., Левковец И.А., Рыжков О.В., Артемьев Г.А., Барбин Н.М., Пищальников А.В., Котовская С.К.* Показатели пожаровзрывоопасности антибактериального препарата левофлоксацина и его основных полупродуктов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2011. Т. 20. № 1. С. 18-20.

60. *Алексеев С.Г., Кошелев А.Ю., Барбин Н.М.* Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XVIII. Алкильные производные аминметанола // *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. Т. 24. № 2. С. 36-44.

61. *Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Барбин Н.М.* Методы прогнозирования основных показателей пожаровзрывоопасности органических соединений // *Техносферная безопасность*. 2015. № 2 (7). С. 4-14.