

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 536.2:614.83:623.454:662.22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ  
КОНСТРУКЦИИ ПОДВИЖНОГО АГРЕГАТА С  
МАЛОГАБАРИТНОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
УСТАНОВКОЙ**

© 2020 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

*Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия*

За первые двадцать лет XXI-го века произошел целый ряд вооруженных конфликтов различного характера, в том числе и с участием государств, имеющих ракетно-ядерное оружие. В статье проводится исследование одного из этапов развития аварийной ситуации, связанной с пожаром, возникшим в результате воздействия обычных средств поражения, на подвижной пусковой установке с твердотопливной баллистической ракетой. Выполнено моделирование теплового воздействия на корпус ракеты и транспортно-пусковой контейнер, проведен анализ результатов расчета и эксперимента.

*Ключевые слова:* баллистическая ракета, пусковая установка, транспортно-пусковой контейнер, твердое ракетное топливо, пожар, тепловой поток, температурное поле.

Поступила в редакцию 05.09.2020

После доработки 20.10.2020

Принята к публикации 26.10.2020

Современная международная обстановка сопряжена с вооруженными конфликтами различного характера, в том числе и с участием государств, имеющих ракетно-ядерное оружие [1-3]. В этом случае следует ожидать поражение пусковых установок ракет обычными средствами авиации, крылатыми ракетами морского базирования, а также диверсионно-разведывательными формированиями [4].

Подвижные пусковые установки (ПУ) при воздействии противника могут оказаться в зоне действия пожара, что приведет к возгоранию агрегата с ракетой. Само ядерное горючее не может стать источником пожара или взрыва. Однако в ядерных боеприпасах (ЯБП) содержится значительное количество обычного химического взрывчатого вещества (ВВ). В состав головных частей могут входить дополнительные устройства, содержащие пирозаряды и твердое топливо. Поэтому в аварийных случаях оснащение ракет следует рассматривать как, безусловно, взрывоопасный элемент. Ракетное топливо также является пожаро- и взрывоопасным. Температуры, развивающиеся при его горении, могут достигать тысячи градусов. При аварийных ситуациях (АС), в которых начинается неконтролируемое горение основных элементов ракетного топлива, речь может идти лишь о локализации пожара, а не о его тушении в обычном понимании этого слова.

Для исследования воздействия пожара на подвижный ядерно- и радиационно опасный объект из перечня возможных этапов развития АС [5] выбраны представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы развития аварийной ситуации [The stages of development of an emergency situation]

№ этапа	Этап	Перечень параметров вторичных воздействий
Э-5	Пожар агрегата с ЯБП	температура, давление; продолжительность воздействия; скорость выброса ГЧ из контейнера ПУ
Э-7	Срабатывание пожаро-взрывоопасных элементов ЯБП	Динамическое и тепловое воздействия (скорость удара; масса и форма элементов; перегрузка на узлах ЯБП; химический состав топлива; температура; давление; продолжительность действия)
Э-13	Взрыв, сгорание	

Рассматривались варианты подвижных ПУ баллистических ракет иностранных государств как с транспортно-пусковым контейнером (ТПК), так и без него (рис. 1).



Рисунок 1 – Подвижные пусковые установки с баллистическими ракетами наземного базирования  
*a* – без ТПК (Индия); *б* – с ТПК (КНДР) [Mobile launchers with land-based ballistic missiles  
*a* – without transport and launch container (India); *b* – with transport and launch container (DPR Korea)]

Проведено исследование воздействия пожара на корпус твердотопливного ракетного двигателя и ТПК, а также рассмотрена вероятность возгорания ВВ ядерного заряда. Для определения распределения температур в конструкции был разработан ряд математических моделей, а также реализована программа экспериментальных исследований.

Аналитические методы позволяют получить решения, по которым можно легко проанализировать влияние всех факторов на результаты. Из множества решений необходимо выбрать, характеризующее конкретный рассматриваемый процесс, а для этого задаются геометрические, физические и краевые условия, которые сформулированы таким образом, чтобы задача имела только одно решение. Основная сложность расчета нестационарных тепловых полей в слоистых средах, состоящих из материалов с различными теплофизическими характеристиками, заключается в необходимости решения соответствующих дифференциальных уравнений в областях, на границах которых температурные градиенты испытывают разрыв. На каждой границе должно выполняться условие равенства тепловых потоков. Первые исследования нестационарной теплопроводности сопряженных тел проведены С.С. Ковнером [6]. Более полно линейная теплопроводность сопряженных тел была рассмотрена М.Г. Коганом [7], который получил аналитическое решение для температурного поля системы, состоящей из произвольного числа слоев, находящихся в абсолютном термическом контакте друг с другом. Также в работе представлен расчет одномерного нестационарного поля многослойной пластины, на внешних поверхностях которой заданы граничные условия третьего рода (решение было получено методом

Фурье с использованием безразмерных комплексов). Менее изучен вопрос теплопроводности двух- и трехмерных многослойных объектов. Этому посвящены работы Е.И. Кима [8], В.А. Кудинова [9]. В работе последнего [9] рассматривается многослойный параллелепипед, на торцах которого заданы граничные условия первого рода, а на одной из граней – третьего рода. Путем совместного применения методов Бубнова-Галеркина и конечных элементов получено решение трехмерной задачи. Здесь же, в качестве примера, рассматривается задача о прогреве плоской слоистой стенки (используется вариационный метод с применением голономного функционала). Однако в вышерассмотренных работах нет решения для многослойных объектов, обладающих кривизной поверхности.

Находить решения задач для любых тел произвольной формы позволяют численные методы, основанные на методе конечных разностей и методе конечных элементов. В более общем случае может быть рассмотрена возможность использования ортогональной криволинейной сетки. Здесь решающее значение (для использования метода) имеет перпендикулярность в точке пересечения касательных к границе и координатной линии, соединяющей узловые точки. В некоторых случаях программу для регулярной сетки можно применить для решения задачи в расчетной области, имеющей нерегулярную геометрию. При этом проводится «блокировка» некоторых объемов регулярной сетки так, чтобы оставшиеся объемы составляли рассматриваемую нерегулярную область, границу которой следует аппроксимировать. Треугольная форма более удобна для аппроксимации нерегулярных областей и получения локального «сгущения» узловых точек сетки метода конечных элементов, который в нашем случае не следует считать отличающимся в принципе от конечно-разностного метода. Возникающие трудности могут быть также успешно преодолены с помощью метода конечных элементов, основанного на интегрировании по контрольному объему. Однако основным недостатком численных методов являются ограниченные возможности для аналитических исследований.

Конструкцию исследуемого объекта представим в виде многослойной цилиндрической оболочки с внутренним радиусом  $r_{вн}$ , длиной  $l$ , материалы слоев которой характеризуются толщиной  $\delta_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ), коэффициентами теплопроводности  $\lambda_i$ , плотностями  $\rho_i$ , удельными теплопроводностями  $c_i$  (рис. 2). Вводится цилиндрическая система координат с центром на оси симметрии цилиндра.

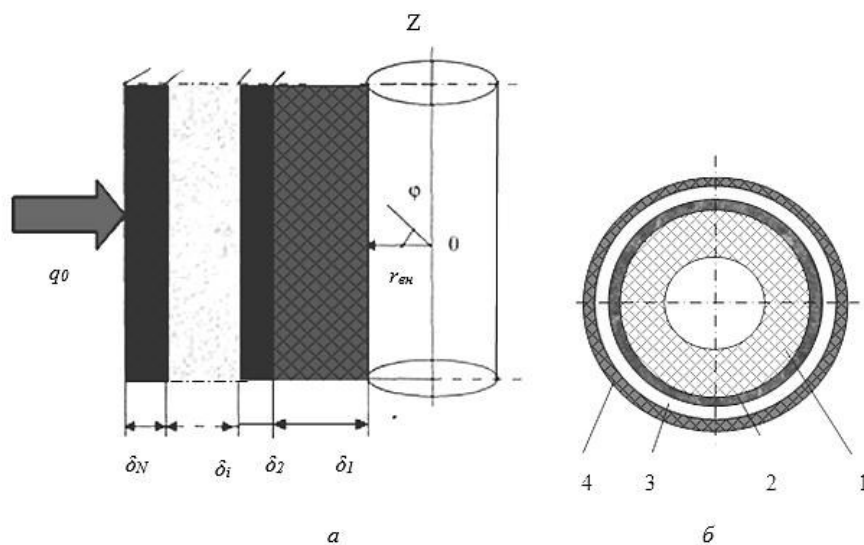


Рисунок 2 – Расчетная схема: а – общая схема для разработки математической модели; б – четырехслойная конструкция; 1 – ТРТ; 2 – капрон; 3 – резина; 4 – материал типа KEVLAR [Design scheme: а – general scheme for developing a mathematical model; б – four-layer construction; 1 – solid propellants; 2 – nylon; 3 – rubber; 4 – Kevlar material]

Аналитическое решение задачи приводится в монографии [10]. В качестве исходных данных использовались геометрические параметры и теплофизические характеристики, приведенные в статье [11], состав топлива выбирался из приведенных в работах [12-17]. Например, в монографии [15] указан следующий состав: перхлорат аммония – 46%, циклотетраметилентетранитроамин – 25%, ультрадисперсный порошок алюминия – 20%, полибутадиен с гидроксильными концевыми связями – 8,5% и ферроцен – 0,5%. За температуру воспламенения твердого ракетного топлива (ТРТ) принята 250°C. Некоторые результаты расчетов температурных полей в корпусе гипотетического объекта представлены на рисунке 3.

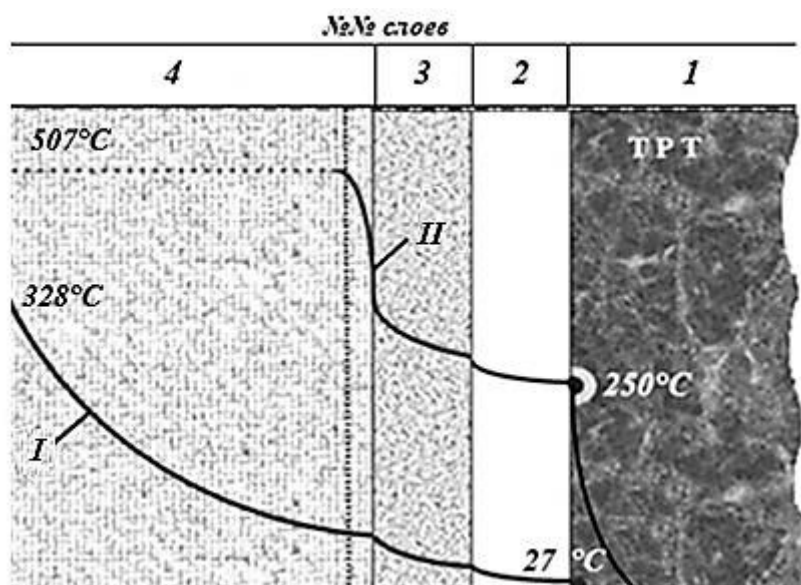


Рисунок 3 – Результаты расчета для  $q = 20 \text{ кВт/м}^2$ : I – температурное поле в момент начала нагрева ТРТ ( $\tau = 125$  секунд); II – температурное поле в момент воспламенения ТРТ ( $\tau = 471$  секунда) [The results of the calculation for the  $q = 20 \text{ kW/m}^2$ : I – temperature field at the moment when solid rocket fuel starts heating ( $\tau = 125$  seconds); II – temperature field at the moment when solid rocket fuel ignites ( $\tau = 471$  seconds)]

Если объект находится в контейнере, то для определения характеристик теплообмена в пространстве между внутренней стенкой контейнера и внешней поверхностью объекта введем эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки, формула (1):

$$\lambda_{\text{экс}} = \varepsilon_{\kappa} \lambda_{\delta} + \alpha_1' \delta_{\delta}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\kappa}$  – коэффициент конвекции;

$\lambda_{\delta}$  – коэффициент теплопроводности воздушной прослойки;

$\alpha_1'$  – приведенный коэффициент теплообмена излучением;

$\delta_{\delta}$  – толщина воздушной прослойки.

Коэффициент конвекции в горизонтально расположенных концентрических прослойках на каждом временном шаге может рассчитываться по формуле (2):

$$\varepsilon_{\kappa} = 0,105(GrPr)^{0,3}. \quad (2)$$

Тепловой поток от внутренней поверхности контейнера к корпусу объекта определяется из выражения (3):

$$q = \frac{\varepsilon_k \lambda_\delta (\Delta T)}{\delta_\delta}, \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – разность температур внутренней поверхности контейнера и внешней поверхности корпуса объекта;  $\alpha_1 = 0$ .

При экспериментальных исследованиях моделировались: воздействие открытого пламени в начальной стадии пожара и температурное воздействие горячего воздуха на фрагмент модели цилиндрического корпуса контейнера. Исследуемые образцы представляли собой фрагменты трехслойной конструкции (рис. 4). Основными исследуемыми факторами в рассматриваемом эксперименте являются: температурное поле, время, геометрические размеры модели (толщина слоев) и мощность теплового источника, воздействие которого представлено на рисунке 5.

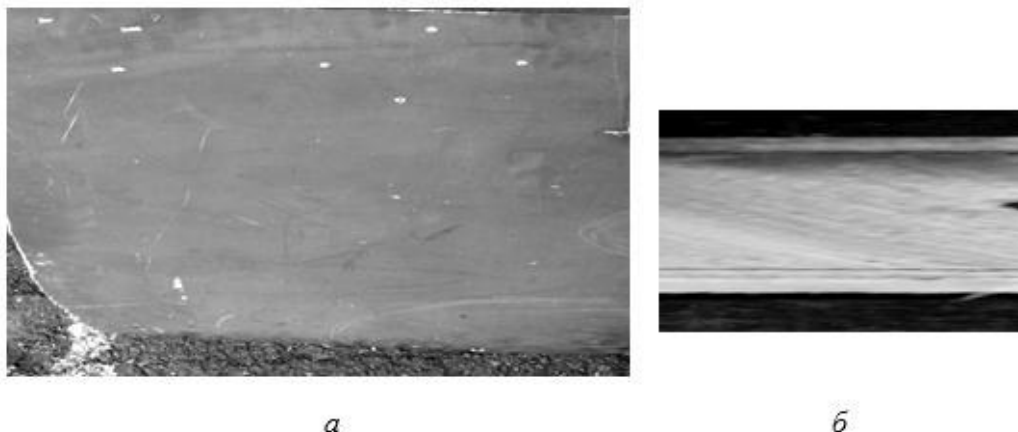


Рисунок 4 – Экспериментальный образец: *a* – внешняя сторона фрагмента; *b* – вид сбоку (три слоя)  
[Experimental sample: *a* – the outer side of the fragment; *b* – the side view (three layers)]

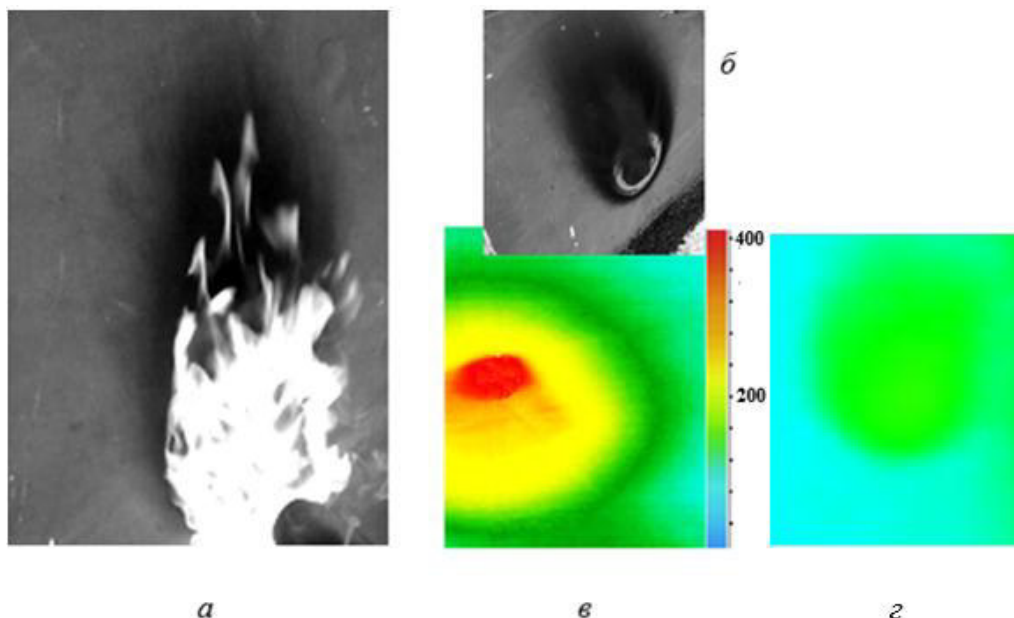


Рисунок 5 – Проведение эксперимента: *a* – воздействие открытого пламени на образец; *b* – образец после воздействия; *c* – изображение внешней поверхности на тепловизоре через 5 секунд после прекращения нагрева; *d* – внутренняя поверхность на тепловизоре через 5 секунд после прекращения нагрева  
[Conducting experiments: *a* – exposure to an open flame on the sample; *b* – the sample after exposure; *c* – the image of the external surface on the imager after 5 seconds after stopping heating; *d* – the internal surface on the imager after 5 seconds after stopping heating]

Ниже приведены результаты измерений температур в зоне максимального нагрева на внешней (рис. 6а) и внутренней (рис. 6б) поверхностях одного из образцов. На рисунке 7 представлен один из образцов после нагрева модели корпуса контейнера открытым пламенем. Видно, что в результате воздействия на поверхность образца пламени происходит расслоение внешнего слоя и плавление теплозащитного слоя конструкции.

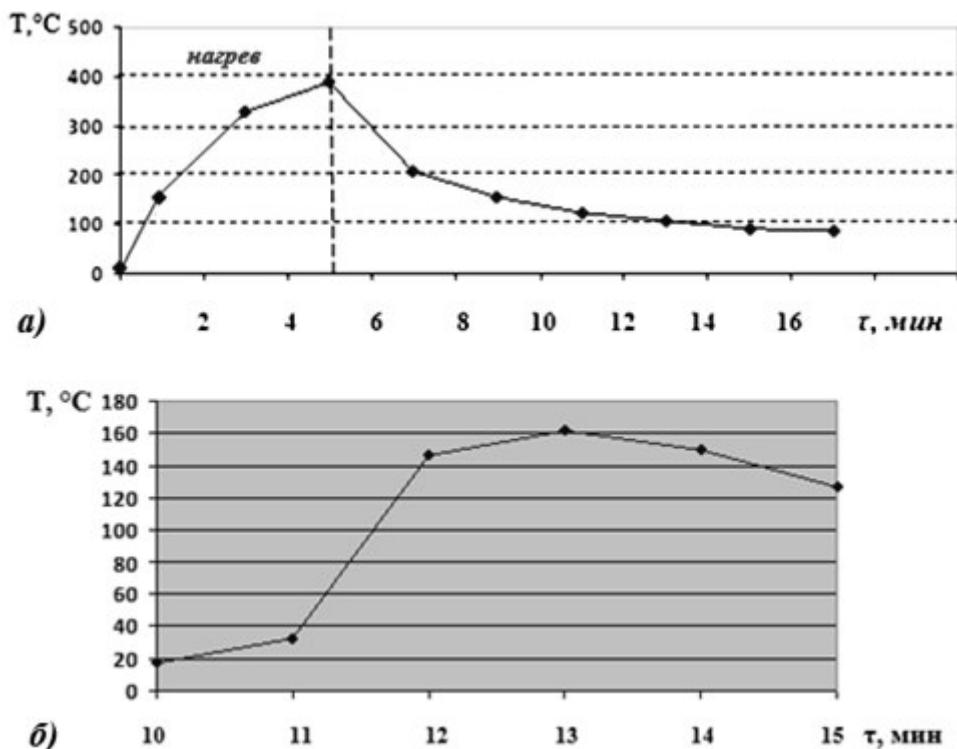


Рисунок 6 – Результаты эксперимента: *a* – изменение температуры на внешней поверхности образца (время воздействия пламени 330 секунд); *б* – изменение температуры на внутренней поверхности образца [Experimental result: *a* – temperature change on the outer surface of the sample (the time of exposure to the flame is 330 seconds), *b* – temperature Change on the inner surface of the sample]

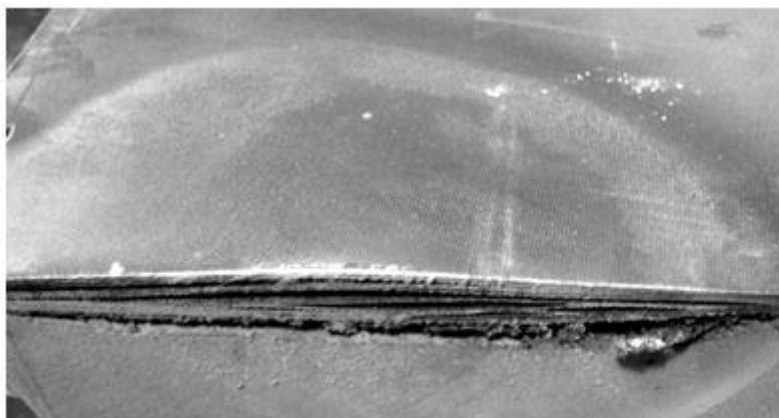


Рисунок 7 – Структура слоев образца после проведения эксперимента [Structure of the sample layers after the experiment]

Также проводились эксперименты по оценке ядерной взрывобезопасности при пожаре. Согласно принятым исходным данным для АС с гипотетическим подвижным агрегатом возгорание топлива, взрывное разрушение корпуса ступени приводят к разбросу фрагментов твердого топлива. Ниже дано описание проведенных экспериментов.

Опыт 1. Моделировался пожар фрагментов топлива, воздействующих на гипотетическую ЯЭУ. Высокотемпературная зона вокруг модели создавалась в течение 80÷90 секунд шашками (15 шт.) топлива близкого по составу, указанному в монографии [15], размеры даны в мм (рис. 8а). В результате полученные значения температур на внутренних элементах модели оказались ниже 110°C.

Опыт 2. Моделировалось температурное воздействие на ЯЭУ газовой струи двигательной установки частично разрушенной ступени ракеты. Направленное воздействие пламени создавалось девятью шашками. Время воздействия 50÷70 секунд. В результате – максимумы температуры на внутренних элементах конструкции модели гипотетической ЯЭУ не превышали 90°C. Фрагменты внешней поверхности (материал на основе стеклопластика) конструкции модели после воздействия представлены на рисунке 8б,в.

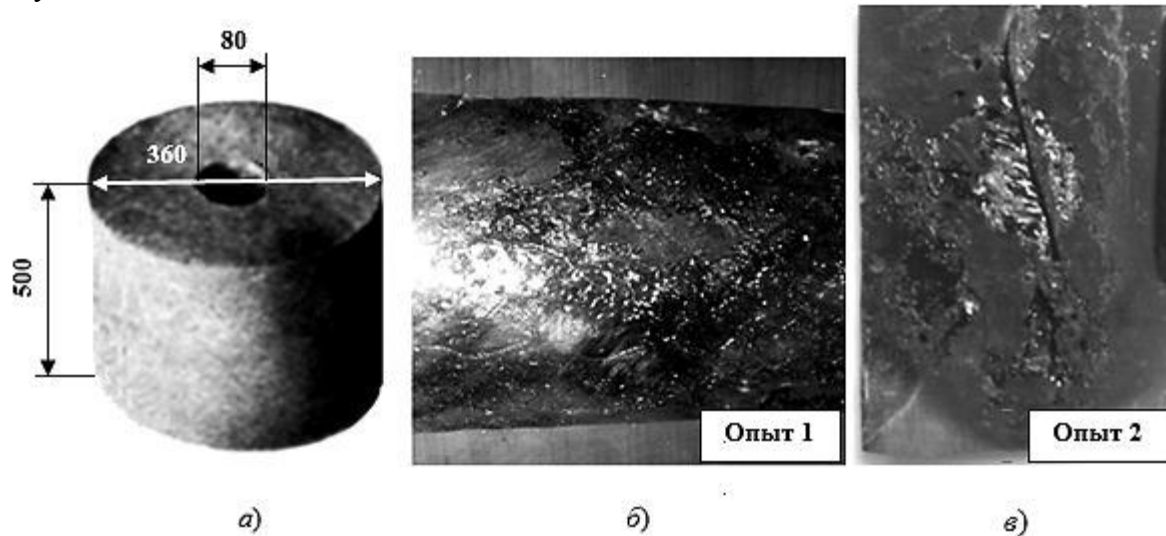


Рисунок 8 – Эксперимент по оценке ядерной взрывобезопасности: а – шашка твердого топлива; б, в – фрагменты конструкции модели после проведения эксперимента [An experiment on the estimation of nuclear explosion: a – solid fuel stick; b, c – fragments of the model structure after the experiment]

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. После прекращения пожара нагрев внутренних элементов ЯЭУ продолжается за счет перераспределения тепла при остывании конструкции (вплоть до возгорания и взрыва обычного ВВ в самой ЯЭУ). Причем горение обычного ВВ, находящегося в гермообъеме, может перейти во взрыв. Поэтому работы аварийной команды следует проводить не раньше, чем через 12 часов после окончания пожара.

2. ЯЭУ с обугленным теплозащитным и лакокрасочным покрытием корпуса в зоне размещения заряда опасны в обращении и подлежат обезвреживанию или уничтожению.

3. Взрыв обычного ВВ будет происходить в низкоскоростном режиме (20÷30% от тротилового эквивалента детонации).

4. Температура воспламенения ТРТ объекта в контейнере будет достигнута за время, в разы превышающее время начала горения топлива объекта без контейнера.

5. Необходимо учитывать не только воздействие открытого пламени на конструкцию, но и горячий воздух от пламени, т.к. при продолжительности около 20 мин. и температурах выше 500°C, он будет оказывать значительное влияние на безопасность эксплуатации. Следует учесть, что температура пожара может существенно повысится при сгорании горюче-смазочных материалов подвижного агрегата (до ~ 1000°C).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев, М. С.* Сравнительный анализ военных доктрин Индии и Пакистана / М. С. Зайцев // Сравнительная политика. – 2018. – № 3. – С. 14-25.
2. *Hoodbhoy, P., Mian, Z.* Nuclear battles in South Asia // The Bulletin of the Atomic Scientists. May 4, 2016. URL : <http://thebulletin.org/nuclear-battles-south-asia9415>.
3. *Kristensen, Hans M., Norris, Robert S.* North Korean nuclear capabilities. 2018. Bulletin of the Atomic Scientists. Vol.74. No.1. P. 41-51. URL : <https://www.tandfonline.com/loi/rbul20>.
4. *Губеладзе, О. А.* Экспресс-оценка результатов нерегламентированных деструктивных воздействий на ядерно- и радиационноопасный объект / О. А. Губеладзе, А. Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 4. – С. 24-30.
5. *Михайлов, В. Н.* Безопасность ядерного оружия России / В. Н. Михайлов. – Москва : Министерство по атомной энергии, 1998. – 148 с.
6. *Ковнер, С. С.* Математическая теория теплового режима n-слойной среды при излучении на границе по закону Ньютона / С. С. Ковнер // Известия АН СССР, Серия «Географическая». – 1937. – №3. – С. 419-430.
7. *Коган, М. Г.* Нестационарная теплопроводность в слоистых средах / М. Г. Коган // Журнал Технической Физики, 1957. – Вып. 82. – № 6. – С. 861-864.
8. *Ким, Е. И.* Об одной задаче теплообмена системы тел / Е. И. Ким // Прикладная механика. – 1957. – Т. 21. – Вып. 5. – С. 624-633.
9. *Кудинов, В. А.* Методы Бубнова-Галеркина и конечных элементов в расчетах трехмерных задач теплопроводности для многослойных конструкций / А. А. Кудинов, В. В. Гнеденко, Б. В. Воробьев // Известия Вузов, Серия «Энергетика». – 1992. – № 5-6. – С. 81-86.
10. *Месхи, Б. Ч.* Пожарная безопасность ядерно- и радиационноопасных объектов / Б. Ч. Месхи, О. В. Денисов, О. А. Губеладзе. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2014. – 162 с.
11. *Беляев, Н. Н.* Моделирование процесса возгорания твердого топлива в корпусе ракеты / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, А. И. Губин // Вісник ПДАБА. – 2013. – Вип. 10 (187). – С. 28-35.
12. *Блинов, В. И.* Концепция ликвидации твердотопливных ракет и утилизации смесевых ракетных топлив / В. И. Блинов, В. И. Загарских, М. А. Майоров // Россия и Мир: политические реалии и перспективы : сборник. – Москва, 1995. – № 5. – С. 58-63.
13. *Бурлака, Н. М.* Эколого-гигиеническое сопровождение как путь обеспечения безопасности вывода из эксплуатации и ликвидации боевых ракетных комплексов / Н. М. Бурлака, Д. Ф. Жданов, А. А. Щепачев, А. В. Тарабара // Сборник трудов Российской инженерной академии. Секция «Инженерные проблемы стабильности и конверсии». – Москва, 2004. – Вып. 11. – С. 34-41.
14. *Жарков, А. С.* Состояние, перспективы и проблемы утилизации ракетных топлив / А. С. Жарков, В. И. Марьяш, С. М. Уткин // Проблемные вопросы методологии утилизации смесевых ракетных топлив, отходов и остатков жидких ракетных топлив в элементах ракетно- космической техники : сборник трудов научно-практической конференции. – Бийск : ФНПЦ «Алтай», Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2003. – С. 5-10.
15. Технические и экологические аспекты ликвидации твердотопливных межконтинентальных баллистических ракет : монография / Под общей редакцией М. И. Соколовского, Я. И. Вайсмана. – Пермь : Издательство Пермского государственного технического университета, 2008. – 635 с.
16. *Цуцуран, В. И.* Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив / В. И. Цуцуран, Н. В. Петрухин, С. А. Гусев. – Москва : МО РФ, 1999. – 332 с.
17. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь / Под редакцией Б. П. Жукова. – Москва : Янус К, 2000. – 483 с.

## REFERENCES

- [1] Zaytsev M.S. Sravnitel'nyi analiz voennykh doktrin Indii i Pakistana [Comparative Analysis of Military Doctrines of India and Pakistan]. Sravnitel'naja politika [Comparative Politics]. 2018. No. 3, P. 14-25 (in Russian).
- [2] Hoodbhoy P., Mian Z. Nuclear battles in South Asia // The Bulletin of the Atomic Scientists. May 4, 2016. URL: <http://thebulletin.org/nuclear-battles-south-asia9415>.
- [3] Kristensen Hans M., Norris Robert S. North Korean Nuclear Capabilities. 2018. Bulletin of the Atomic Scientists. Vol.74. No.1. P. 41-51. URL: <https://www.tandfonline.com/loi/rbul20>.
- [4] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Express-otsenka rezul'tatov nereglamentirovannykh destruktivnykh vozdeystviy na yaderno- i radiatsionnoопасnyy ob'ekt [Express Assessment of Results of Independent Destructive Impacts on Nuclear and Radiation-Hazardous Object]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2018. № 4(29). P. 24-30 (in Russian).



- [5] Mikhaylov V.N. Bezopasnost' yadernogo oruzhiya Rossii [Safety of Nuclear Weapon of Russia]. Moskva: Ministerstvo po atomnoy energii [Moscow: Ministry of Nuclear Energy]. 1998. 148 p. (in Russian).
- [6] Kovner S.S. Matematicheskaya teoriya teplovogo regima n-slojnoj sredy pri izluchenii na granitse po zakonu N`jutona [Mathematical Theory of the Thermal Regime of an N-Layer Medium under Radiation at the Boundary according to Newton's Law]. Izvestija AN SSSR. Serija Geograficheskaja [News of the USSR Academy of Sciences. Geographical Series]. 1937. № 3. P. 419-430 (in Russian).
- [7] Kogan M.G. Nestatsionarnaja teploprovodnost v sloistyh sredah [Non-Stationary Thermal Conductivity in Layered Media]. Gurnal Tehnicheskoy Fiziki [Journal of Technical Physics]. 1957. Issue 82, № 6. P. 861-864 (in Russian).
- [8] Kim E.I. Ob odnoj zadache teploobmena sistemy [On a Problem of Heat Exchange of a System of Bodies]. Prikladnaja mehanika [Applied Mechanics]. 1957. Volume 21. Issue 5. P. 624-633 (in Russian).
- [9] Kudinov V.A., Gnedenko V.V., Vorob'yev B.V. Metody Bubnova-Galerkina i konetchnyh elementov v raschetah trehmernyh zadach teploprovodnosti dlja mnogoslujnyh konstruksij [Bubnov-Galerkin and Finite Element Methods in Calculations of Three-Dimensional Heat Conduction Problems for Multilayer Structures]. Izvestija vuzov. Serija Energetika [Higher Education News. Series Energy]. 1992. № 5-6. P. 81-86.
- [10] Meshi B.Ch., Denisov O.V., Gubeladze A.R. Pogarnaja bezopasnost yaderno- i radiatsionnoopasnyh ob'ektov [Fire Safety of Nuclear and Radiation-Hazardous Facilities]. Rostov-na-Donu: Izdatel'skiy tsentr DGTU [Rostov-on-Don. Don State Technical University Publishing Center]. 2014. 162 p. (in Russian).
- [11] Beljaev N.N., Berlov A.V., Gubin A.I. Modelirovanie protsessa vozgoranija tverdogo topliva v korpuse rakety [Simulation of Solid Fuel Combustion in the Rocket Body]. Visnik PDABA [Bulletin of the Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture]. 2013. Issue 10(187). P. 28-35 (in Ukraine).
- [12] Blinov V.I., Zagarskikh V.I., Mayorov M.A. Kontseptsija likvidatsii tverdotoplivnyh raket I utilizatsii smesevykh raketnykh topliv [The Concept of Elimination of Solid-Propellant Rockets and Disposal of Composite Rocket Propellants]. Rossiya I mir: politicheskie realii I perspektivy: sbornik [Russia and the World: Political Realities and Prospects: Collector]. Moskva [Moscow]. 1995. № 5. P. 58-63 (in Russian).
- [13] Burlaka N.M. Ekologo-gigienicheskoe soprovogdenie kak put obespechenija bezopasnosti vyvoda iz ekspluatatsii I likvidatsii boevykh raketnykh kompleksov [Environmental and Hygienic Support as a Way to Ensure the Safety of Decommissioning and Elimination of Combat Missile Systems]. Sbornik trudov. Sektsija "Ingenernye problemy stabilnosti I konversii" Rossijskoj ingenernoj akademii [Collection of Works. Section "Engineering Problems of Stability and Conversion" of the Russian Engineering Academy]. Moskva [Moscow]. 2004. Issue 11. P. 34-41 (in Russian).
- [14] Zharkov A.S., Mar'yash V.I., Utkin S.M. Sostoyanie, perspektivy i problemy utilizatsii raketnykh topliv [State, Prospects and Problems of Utilization of Rocket Fuels]. Problemy`e voprosy` metodologii utilizatsii smesevy`x raketny`x topliv, otkodov i ostatkov zhidkix raketny`x topliv v e`lementax raketno-kosmicheskoy texniki: sb. trudov nauchno-prakticheskoy konferencii [Problem Questions of the Methodology of Mixed Rocket Fuel Utilization, Waste and Residues of Liquid Rocket Fuels in the Elements of Rocket and Space Technology: Collection of the scientific-practical conference]. Biysk : FNPTS «Altay», Rossiyskaya akademiya raketnykh i artillerijskikh nauk [Biysk. Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Federal research and production center «Altai»]. 2003. P. 5-10 (in Russian).
- [15] Sokolovskij M.I., Vajsman Ja.I. Tehnicheskie I ekologicheskie aspekty likvidatsii tverdotoplivnyh megkontinental`nyh ballisticheskikh raket [Technical and Environmental Aspects of Eliminating Solid-Fuel Intercontinental Ballistic Missiles]. Perm. 2008. 635 p. (in Russian).
- [16] Tsutsuran V.I., Petrukhin N.V., Gusev S. A. Voенно-tekhnicheskij analiz sostoyaniya i perspektivy razvitiya raketnykh topliv [Military and Technical Analysis of a State and Prospect of Development of Rocket Fuels]. Moskva: MO RF [Moscow: MO RF]. 1999. 332 p. (in Russian).
- [17] Energeticheskie kondensirovannye sistemy. Kratkiy entsiklopedicheskij slovar' [The Power Condensed Systems. Short Encyclopedic Dictionary]. Moskva: Yanus K. [Moscow. Yanus K.]. 2000. 483 p. (in Russian).

## The Investigation of Fire Effects to Structural Elements of a Mobile Unit with a Compact Nuclear Power Plant

O.A. Gubeladze<sup>1</sup>, A.R. Gubeladze<sup>2</sup>

*Don State Technical University, Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia 344000*

<sup>1</sup>*ORCID iD: 0000-0001-6018-4989*

*WoS Researcher ID: F-6921-2017*

*e-mail: buba26021966@yandex.ru*

<sup>2</sup>*ORCID iD: 0000-0002-6966-6391*

*WoS Researcher ID: F-7215-2017*

*e-mail: buba26021966@yandex.ru*

**Abstract** – During the first twenty years of the XXI century a number of a different nature armed conflicts have occurred. In some of them states with nuclear-missile take part. The article researches one of the phases of emergency situation growth driven by fire generated conventional weapon on the mobile launch platform with solid-propellant ballistic missile. The simulation of the thermal effect on air frame and transporter-launcher container is performed, the result calculation valuation and experiment are carried out.

*Keywords:* ballistic missile, launcher, transport and launch container, solid rocket fuel, fire, heat flux, temperature field.