

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 532.5:539.5:623.45

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ  
НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
НА ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННООПАСНЫЙ ОБЪЕКТ**

© 2018 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

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

Рассматривается развитие аварийной ситуации после деструктивных воздействий на гипотетическую ракету с гипотетическим ядерным боеприпасом (ЯБП). Проведена оценка возможности ударно-волнового инициирования заряда обычного взрывчатого вещества, входящего в состав ЯБП.

*Ключевые слова:* твердое ракетное топливо, ударно-волновое инициирование, детонация, ядерный боеприпас, аварийный взрыв.

Поступила в редакцию: 29.05.2018

В обнародованном в США 2 февраля 2018 года документе, который носит название «Обзор ядерной политики» (2018 Nuclear Posture Review Final Report), говорится: «Учитывая существующий и разрабатываемый ядерный потенциал, существующий потенциал в области химических, биологических и обычных вооружений, а также исключительно провокационную риторику и действия, Северная Корея представляет собой неотложную и непредсказуемую угрозу». Подобные заявления повышают вероятность возникновения вооруженного конфликта на Корейском полуострове. Несмотря на грядущие изменения в ядерной доктрине США, основным видом предполагаемого воздействия США по ракетным комплексам КНДР следует ожидать поражение пусковых установок (ПУ) и ракет обычными средствами стратегической и тактической авиации, а также крылатыми ракетами (КР) морского базирования в рамках операции группы армий или стратегической операции на театре военных действий. Планируемое воздействие: по стационарным защищенным ПУ – управляемые ракеты (УР) / управляемые авиабомбы (УАБ) – 2 или 2÷3 КР в обычном снаряжении; по мобильным и незащищенным стационарным ПУ – КР с кассетной боевой частью или неуправляемые ракеты (НУР) [1, 2].

Существуют следующие виды опасности ядерного оружия (ЯО): опасность несанкционированного применения ЯО; опасность ядерного взрыва; опасность ядерных энерговыделений самоподдерживающейся цепной ядерной реакции (СЦЯР); опасность возникновения СЦЯР; опасность выброса радиоактивных и токсичных веществ в окружающую среду; опасность ионизирующего воздействия радиоактивных веществ составных частей ядерного боеприпаса. К настоящему времени широко известно о многочисленных авариях и катастрофах, связанных с ЯО, среди которых особый интерес представляют следующие: в августе 1966 года в шахте взорвалась межконтинентальная баллистическая ракета «Титан-2» (США); в сентябре 1980 года произошел взрыв такой же ракеты (взрывной волной из шахты была выброшена ядерная боеголовка); в 1985 году произошел взрыв твердотопливного двигателя ракеты «Першинг-2» (база США на территории ФРГ) [3]. Наличие твердого ракетного топлива

(ТРТ) в составе ядерноопасного объекта повышает вероятность возникновения аварийной ситуации с наиболее тяжелыми последствиями. ТРТ, по сути – взрывчатые вещества, при нерегламентированных деструктивных воздействиях (НДВ) сами являются источником вторичных воздействий на ядерный боеприпас (ЯБП).

Для исключения неконтролируемых взрывов ядерных боеприпасов используются ступени предохранения, хотя выделения ядерной энергии и рассеивание ядерного горючего в случае аварийного взрыва боеприпаса полностью исключить не удастся. Ядерное горючее не может стать источником пожара или взрыва. Однако в ядерных боеприпасах содержится значительное количество обычного взрывчатого вещества, в состав головных частей могут входить дополнительные устройства, содержащие пирозаряды и твердое топливо. Поэтому в аварийных случаях (АС) ядерное оснащение ракет следует рассматривать как взрывоопасный элемент.

Вероятность того, что аварийный взрыв ЯБП будет активным, составляет 0,3%. Само по себе деление на аварийный неактивный (АНВ) и аварийный активный взрыв (ААВ) довольно условно. Так ААВ считается взрыв, при котором энерговыделение превышает энерговыделение взрыва заряда обычного взрывчатого вещества (ВВ) ЯБП более чем на 10 кг в тротиловом эквиваленте (ТЭ) [4].

Из перечня возможных АС и этапов их развития [5] выбрана АС-III «Воздействие обычных средств поражения на агрегат» с параметром «Характеристики поражающих элементов». Этапы развития АС-III:

- Э-2 – пожар агрегата с ракеты (Э-2-1 – пожар (взрыв) топлива ракеты; Э-2-2 – срабатывание пожаро-взрывоопасных элементов ракеты и ЯБП);
- Э-5 – разрушение корпуса двигательной установки;
- Э-7 – воздействие обычных средств поражения;
- Э-8 – воздействие поражающих факторов взрыва элементов ракеты, ЯБП;
- Э-13 – взрыв, сгорание ЯБП.

Анализ возможных аварийных ситуаций (АС) при НДВ на твердотопливные двигательные установки ракет показал, что наиболее опасным для ЯБП, является ударное воздействие, создаваемое действием продуктов детонации и разгоняемыми элементами конструкции.

На рисунке 1 представлена логическая схема развития А-III (дерево событий) для наихудшего сценария (исход – Э-13).

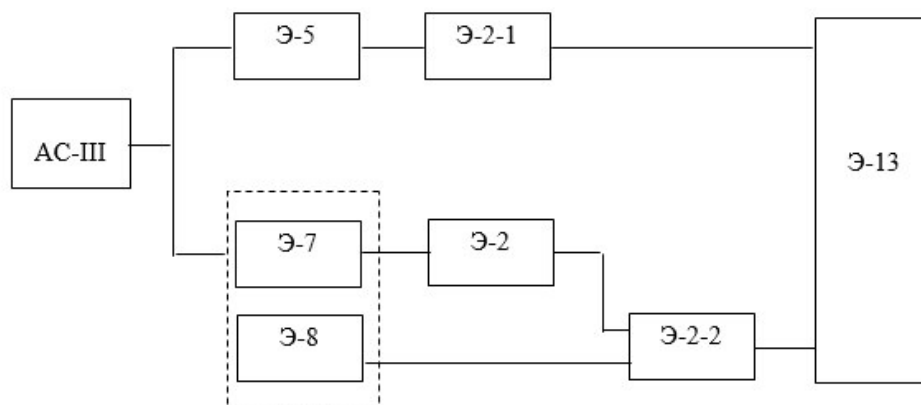


Рисунок 1 – Логическая схема развития А-III для наихудшего сценария (исход – Э-13) [The logical scheme of the development of A-III for the worst scenario (outcome - E-13)]

Рассмотрим развитие АС после НДВ на гипотетическую ракету с гипотетическим ЯБП. Так как достоверных сведений о ракетных топливах баллистических ракет КНДР

нет, то по материалам работ [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] был определен диапазон механических, теплофизических и химических свойств ракетных топлив. Для расчетных исследований механизма возбуждения и распространения взрывчатых превращений в зарядах ТРТ брались гипотетические образцы (№№ 1÷3). Некоторые их характеристики в сравнении с взрывчатыми веществами представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики гипотетических образцов с взрывчатыми веществами (Characteristics of hypothetical samples with explosives)

Взрывоопасные вещества	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Критический диаметр, мм	Критическое давление инициирования, ГПа	Скорость детонации, м/с	Теплота взрыва, кДж/кг
Перхлорат аммония	1000	30	1,5	3750	2030
Гексоген	1800	1-3	10	8860	5610
Октоген	1870	1-2	10	8900	5400
Тротил	1600	5	2,2	6970	4120
Образец № 1	1830	34	2,0	6500	6600
Образец № 2	1740	36	2,0	6000	6600
Образец № 3	1790	27	7,2	5500	6600

Модельные испытания показали, что при определенном воздействии в образце № 1 может быть возбуждена детонация, в остальных случаях послышное или конвективное горение либо взрыв в низкоскоростном режиме (ТЭ ~ 20÷30% от ТЭ детонации).

При взрыве заряда ТРТ распределится по поверхности оболочки. Определения скорости метания конструкции подробно рассмотрено в работе [15]. Наибольший интерес для исследования воздействия на ЯБП представляет движение переднего днища и других элементов конструкции, разделяющих РДТТ и ЯБП (агрегатный, соединительный и переходной отсеки), которые будут вовлечены в движение. На рисунке 2 представлена расчетная схема конструкции гипотетической твердотопливной ракеты.

Приборный отсек ( $m_{ПО}$ ), агрегатный отсек ( $m_{АО}$ ), соединительный отсек ( $m_{СО}$ ) и днище ( $m_{кДН}$ ) как правило выполнены из АМг-6 и стеклопластика. При расчете следует учитывать их суммарную массу.

Для рассматриваемой гипотетической ракеты скорость метания определим по упрощенной формуле (1) [13]:

$$U = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\beta}{2\left(1 + \frac{\beta}{3}\right)}} \quad (1)$$

Приняв  $\beta \sim 1,7$  и  $D = 5500 \div 6500$  м/с, получим  $U = 2230 \div 2630$  м/с.

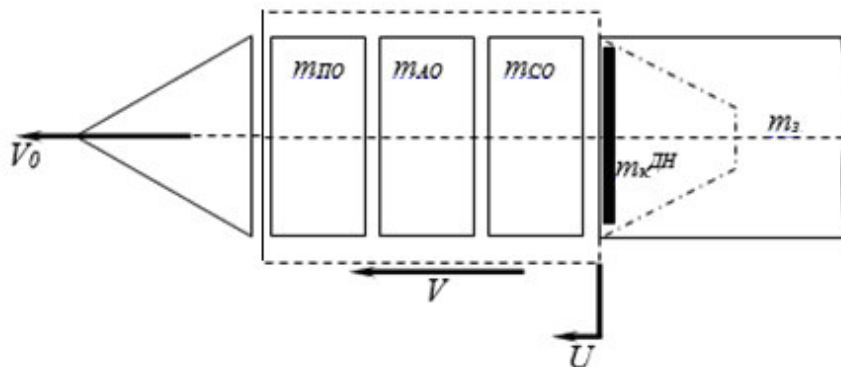


Рисунок 2 – Расчетная схема [Design scheme]

На рисунке 3 представлены результаты моделирования деформации рассматриваемой конструкции для различных моментов времени  $\tau$  (сек).

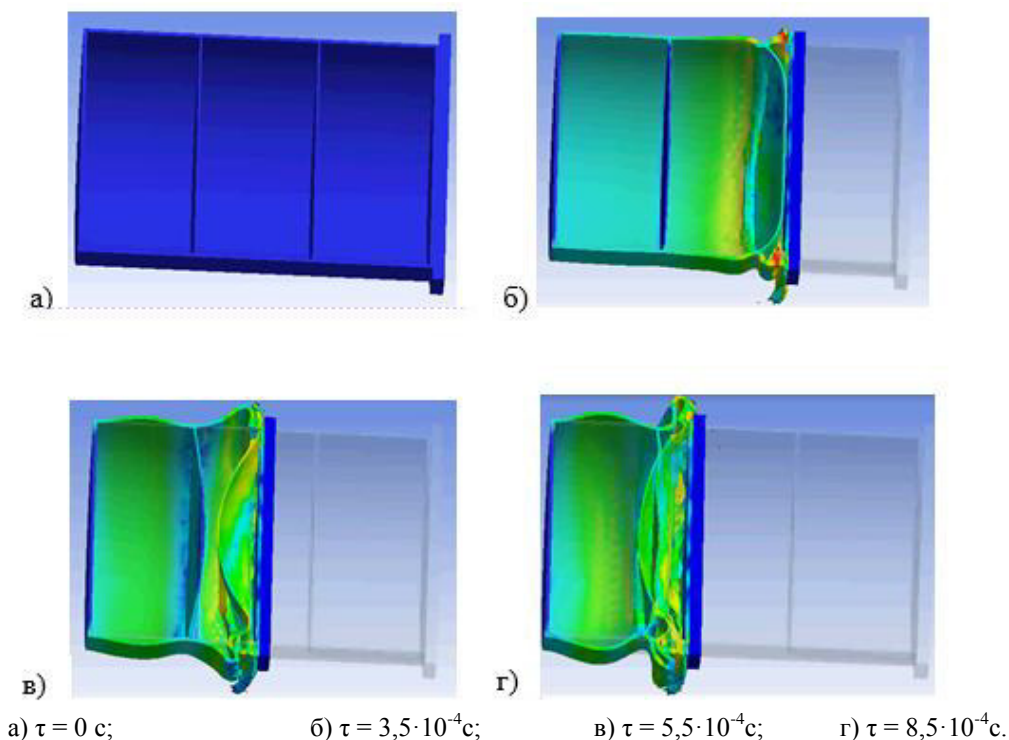


Рисунок 3 – Деформация элементов конструкции [Deformation of structural elements]

Проведенная оценка возможности ударно-волнового инициирования заряда ВВ ЯБП показала, что детонация обычного взрывчатого вещества рассматриваемого устройства возможна в диапазоне скорости  $3000 \div 4500$  м/с. Поэтому ожидаемый исход развития этапов данной АС – аварийный неактивный взрыв (разрушение ЯБП) с возможным развитием пожара. Результаты математического моделирования подобной аварийной ситуации с гипотетическим ЯБП ( $\sim 0,33$  Мт в ТЭ) представлены на рисунке 4 [4].

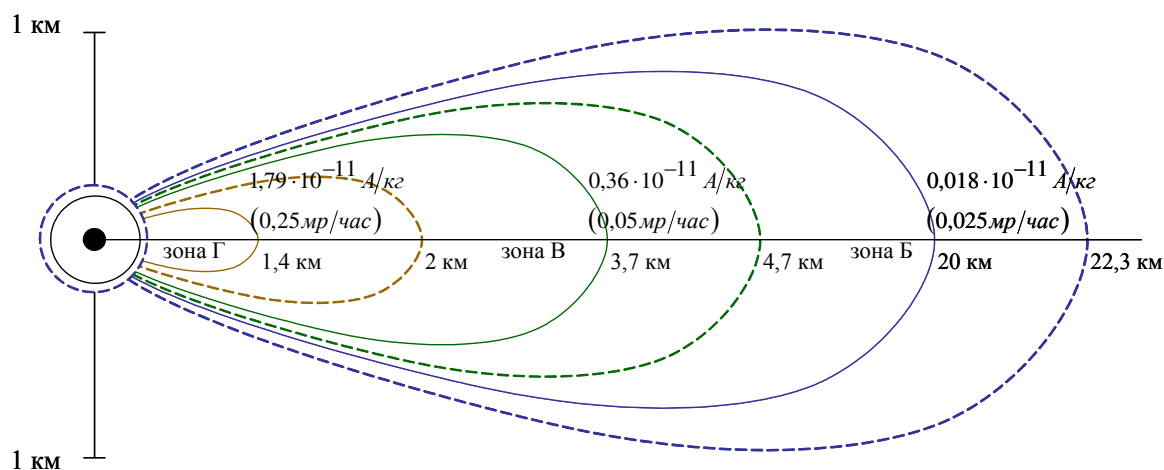


Рисунок 4 – Радиоактивное ( $\alpha$ ) заражение местности при АНВ (пожаре) гипотетического ЯБП (пунктиром показаны зоны при пожаре) [Radioactive ( $\alpha$ ) contamination of the area in case of fire of a hypothetical nuclear warhead (dotted lines indicate fire areas)]

При АНВ заражение будет только  $\alpha$  -излучением, возможен пожар. При температурах на деталях радиоактивных веществ:  $500^{\circ}\text{C}$  – горит плутоний ( $\alpha$  -фаза горения);  $590^{\circ}\text{C}$  – горит плутоний ( $\delta$  – фаза горения);  $680^{\circ}\text{C}$  – воспламеняется уран и дейтерид лития. При сгорании урана и плутония происходит образование окислов металлов, сорбированных на частицах дыма. Облака дыма с диспергированными радиоактивными веществами ядерного боеприпаса ветром относит на значительные расстояния, вызывая радиоактивное заражение местности. Пожар гораздо опаснее, чем АНВ. При этом возможны заболевания человека: отек легких, склероз легких, отдельные поражения легких.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Слипченко, В.И.* Войны нового поколения: дистанционные бесконтактные. [Текст] / В.И. Слипченко. – Москва : ОЛМА-ПРЕСС Образование, 2004. – 382 с.
2. *Кирьян, М.М.* Внезапность в операциях вооруженных сил США [Текст] / М.М. Кирьян. – Москва : Воениздат, 1982. – 328 с.
3. *Кириллов, В.М.* Физические основы радиационной и ядерной безопасности. [Текст] / В.М. Кириллов – Москва : РВСН, 1992. – 212 с.
4. *Денисов, О.В.* Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения: моногр. [Текст] / О.В. Денисов, О.А. Губеладзе, Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин; под общ. ред. Ю.И. Булыгина. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278 с.
5. *Михайлов, В.Н.* Безопасность ядерного оружия России. [Текст] / под ред. В.Н. Михайлова – Москва : Мин. по атомной энергии – 1998. – 148 с.
6. *Жарков, А.С.* Состояние, перспективы и проблемы утилизации ракетных топлив [Текст] / 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 : сб. трудов научно-практической конференции. Бийск : ФНПЦ «Алтай», Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2003 г. – С. 5-10.
7. *Маклаков, С.Ф.* Ракеты стратегического назначения. Курсовое и дипломное проектирование: метод. пособие [Текст] / С.Ф. Маклаков, Л.Л. Маджугин, О.А. Губеладзе – Ростов-на-Дону : РВИ РВ, 2009. – 128 с.
8. *Косточко, А.В.* Пороха, ракетные твердые топлива и их свойства : учебное пособие Казан. гос. технол. ун-т. [Текст] / А.В. Косточко, Б.М. Кабзан – Москва : ИНФРА-М, 2014. – 399 с.
9. *Соколовский, М.И.* Опыт экологически чистой утилизации малогабаритных РДТТ [Текст] / М.И. Соколовский, В.З. Каримов, Ю.Н. Щербаков // Проблемные вопросы методологии утилизации смесевых ракетных топлив, отходов и остатков жидких ракетных топлив в элементах ракетно-космической техники : сб. трудов научно-практической конференции. Бийск: ФНПЦ «Алтай», Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2003. – С. 2-4.
10. *Алемасов, В.Е.* Теория ракетных двигателей: учебник для студентов ВТУЗов [Текст] / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегаллин, А.П. Тишин; под ред. В.П. Глушко. – Москва : Машиностроение, 1989. – 464 с.
11. *Цуцуран, В.И.* Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив: Учеб. [Текст] / В.И. Цуцуран, Н.В. Петрухин, С.А. Гусев. – Москва : МО РФ, 1999. – 332 с.
12. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь [Текст] / под ред. Б.П. Жукова. – Москва : Янус К, 2000. – 483 с.
13. *Орленко, Л.П.* Физика взрыва и удара: учебное пособие для вузов. [Текст] / Л.П. Орленко – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 304 с.
14. Методы исследования взаимодействия кинетических ударников с тонкостенными конструкциями: научно-методические материалы. – МО РФ, 1999. – 217 с.
15. *Губеладзе, О.А.* Оценка результатов нерегламентированных воздействий на взрывоопасный объект [Текст] / О.А. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2011. – №1. – С. 61-63.

## REFERENCES

- [1] Slipchenko V.I. Voyny novogo pokoleniya: distantsionnye beskontaktnye [Wars of New Generation: Remote Contactless]. Moscow. OLMA-PRESS Obrazovanie [OLMA-PRESS Education Publishing House]. 2004. 382 p. (in Russian).
- [2] Kir'yan M.M. Vnezapnost' v operatsiyakh vooruzhennykh sil SShA [Suddenness in Operations of Armed Forces of the USA]. Moscow. Voenizdat. 1982. 328 p. (in Russian).
- [3] Kirillov V.M. Fizicheskie osnovy radiatsionnoy i yadernoy bezopasnosti [Physical Bases of Radiation and Nuclear Safety]. Moscow. RVSNI. 1992. 212 p. (in Russian).
- [4] Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territoriy v chrezvy`chajny`x situatsiyax. Problemy` i resheniya: monografiya [Complex Safety of the Population and Territories in Emergency Situations. Problems and Solutions.]. Rostov-on-Don. Publishing center Don State Technical University. 2016. 278 p. (in Russian).
- [5] Mikhaylov V.N. Bezopasnost' yadernogo oruzhiya Rossii [Safety of Nuclear Weapon of Russia]. Moscow. Min. po atomnoy energii [Ministry of Nuclear Energy]. 1998. 148 p. (in Russian).
- [6] 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 konferentsii [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. Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Federal research and production center «Altai». 2003. P. 5-10 (in Russian).
- [7] Maklakov S.F., Madzhugin L.L., Gubeladze O.A. Rakety strategicheskogo naznacheniya. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie. Metodicheskoe posobi [Rockets of Strategic Appointment. Course and Degree Design. Methodical Grant]. Rostov-on-Don. Rostov Military Institute of Rocket Troops. 2009. 128 p. (in Russian).
- [8] Kostochko A.V., Kabzan B.M. Porokha, raketnye tverдые topliva i ikh svoystva : uchebnoe posobie Kazan. gos. tekhnol. un-t [Gunpowder, Rocket Solid Fuels and their Properties]. Moscow. INFRA-M. 2014. 399 p. (in Russian).
- [9] Sokolovskiy M.I., Karimov V.Z., Shcherbakov Yu.N. Opyt ekologicheskoy chistoy utilizatsii malogabaritnykh RDTT [Experience of Environmentally Friendly Utilization of Small-Sized RDTT]. 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 konferentsii [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. Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. Federal research and production center «Altai». 2003. P. 2-4 (in Russian).
- [10] Aemasov V.E., Dregalin A.F., Tishin A.P. Teoriya raketnykh dvigateley: uchebnyy dlya studentov VTUZov [Theory of Rocket Engines]. Moskva. Mashinostroenie [Moscow. Mechanical Engineering]. 1989. 464 p. (in Russian).
- [11] Tsutsuran V.I., Petrukhin N.V., Gusev S. A. Voенно-tekhnicheskyy analiz sostoyaniya i perspektivy razvitiya raketnykh topliv [Military and Technical Analysis of a State and Prospect of Development of Rocket Fuels]. Moscow. MO RF. 1999. 332 p. (in Russian).
- [12] Energeticheskie kondensirovannyye sistemy. Kratkiy entsiklopedicheskiy slovar' [The Power Condensed Systems. Short Encyclopedic Dictionary]. Moscow. Yanus K. 2000. 483 p. (in Russian).
- [13] Orlenko L.P. Fizika vzryva i udara: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Physics of Explosion and Blow: Manual for Higher Education Institutions]. Moscow. FIZMATLIT [Moscow. PHIZMATLIT]. 2008. 304 p. (in Russian).
- [14] Metody issledovaniya vzaimodeystviya kineticheskikh udarnikov s tonkostennymi konstruktsiyami: Nauchno-metodicheskie materialy [Methods of Research of Interaction of Kinetic Drummers with Thin-Walled Designs: Scientific and Methodical Materials]. Moscow. MO RF. 1999. 217 p. (in Russian).
- [15] Gubeladze O.A. Otsenka rezul'tatov nereglamentirovannykh vozdeystviy na vzryvoopasnyy ob'ekt [Estimating of Unregulated Influence Results on Explosive Object]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2011. №1 (1). P. 61-63 (in Russian).

## Express Assessment of Results of Independent Destructive Impacts on Nuclear and Radiation-Hazardous Object

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-6921-201*

*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** – The paper considers the development of an emergency after destructive impacts on a hypothetical rocket with hypothetical nuclear ammunition. Assessment of a possibility of shock and wave initiation of usual explosive charge which is a part of hypothetical nuclear ammunition carried out.

**Keywords:** solid rocket fuel, shock and wave initiation, detonation, nuclear ammunition, emergency explosion.