
ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 539.42: 623.45

РАЗРАБОТКА ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДВИЖНОГО АГРЕГАТА С ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫМ ОБЪЕКТОМ

© 2019 О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе

Донской государственный технический университет, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Совершенствование средств защиты подвижных ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО) от воздействия кинетических ударников должно осуществляться за счет применения новых материалов, использования многослойных конструкций с разнесенными и разноориентированными слоями, использования свойств рикошета, преломления траектории ударника при прохождении преграды. В статье представлены некоторые результаты экспериментальных исследований направленных на принятие конструктивно-технических решений, реализующих различные принципы защиты подвижных ЯРОО.

Ключевые слова: обычные средства поражения, кинетические ударники, защитный экран, ядерно- и радиационно опасный объект.

Поступила в редакцию 18.02.2019

После доработки 28.02.2019

Принята к публикации 01.03.2019

Проблема совершенствования средств защиты подвижных ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО) от воздействия обычных средств поражения является весьма актуальной, это обусловлено несколькими факторами: неудовлетворительной стойкостью или полным отсутствием средств защиты на некоторых ЯРОО от воздействия стрелкового оружия и средств ближнего боя; постоянным совершенствованием обычных средств поражения; наличием угрозы террористических акций на подобных объектах с применением стрелкового оружия; необходимостью обеспечения защиты ЯРОО не только от целенаправленного деструктивного воздействия, но и от случайного воздействия кинетических ударников различной природы в результате нештатных ситуаций. К настоящему времени разработано и предложено большое количество конструктивно-технических решений, реализующих различные принципы защиты объектов от воздействия кинетических ударников. Однако проблема окончательно не снята с повестки дня. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск возможности защиты объектов посредством применения новых материалов, использования многослойных конструкций с разнесенными и разноориентированными слоями, использования свойств рикошета, преломления траектории ударника при прохождении преграды и т.д.

В опубликованных ранее трудах [1-7] были представлены некоторые результаты исследований, включающих разработку: организационных и технических мероприятий, направленных на повышение защищенности подвижного агрегата с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) от воздействия высокоскоростных ударников [1-5]; методик оценки последствий нерегламентированных воздействий на взрывоопасный объект с ЯЭУ [6,7]. Так в статье [1] рассмотрена задача выбора критерия оценки стойкости мобильного объекта с защитной конструкцией, решение динамических

контактных задач взаимодействия ударника цилиндрической формы с преградой по нормали численными методами представлено в работе [2]. В монографии [3] подробно исследуется плоское движение абсолютно твердого удлиненного ударника цилиндрической формы при пробивании им тонкой преграды под углом. Результаты исследования процесса взаимодействия ударника с двухслойной мишенью («пластина – вязкая среда») под различными углами опубликованы в работах [3, 4].

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, которые могут быть использованы при разработке защитного экрана для мобильного агрегата с ЯЭУ. Для изготовления защитных экранов используются различные конструкционные материалы, как однородные, так и композиционные, а сама конструкция экрана может быть однослойной и многослойной [8].

На рисунке 1 приводятся результаты эксперимента, которые позволили установить взаимосвязь между характерными признаками повреждений (диаметр пробоины) и характеристиками средств поражения. В качестве боеприпасов использовались: для АК-74 и АКМ патроны с пулей ПС (соответствующего калибра); для СВД и ДШКМ патроны с бронебойно-зажигательной пулей. Здесь также представлены результаты, когда некоторые образцы из АМг-6 были размещены за экраном из того же материала (рис. 1б).

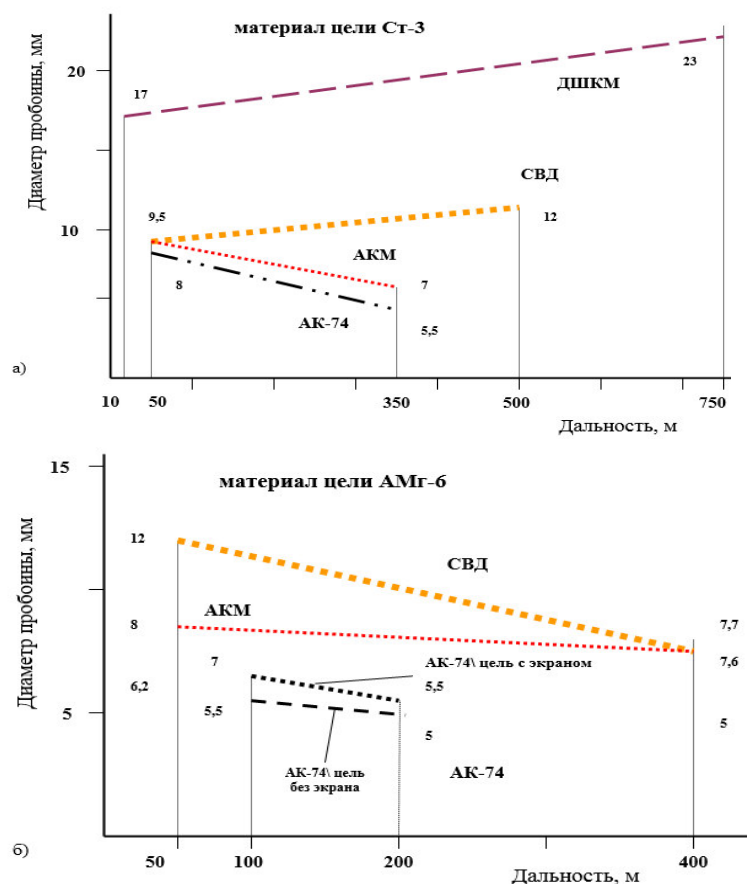


Рисунок 1 – Результаты эксперимента (взаимосвязь между характерными признаками повреждений и характеристиками средств поражения) [The results of the experiment (the relationship between the characteristics of damage and characteristics of destruction means)]

Полученные результаты остаточной скорости ударника сравнивались с результатами численных исследований. Скорость ударника за экраном вычислялась по методике [2]. Критическая скорость пробития преграды может быть определена по формуле (1):

$$v_{кр} = \left[v_{nn}^2 - v_{zn}^2 \exp\left(2\chi^* \cdot \frac{m_n}{m_0}\right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где m_n – масса материала преграды, выбитого ударником;

χ^* – уточненный параметр;

m_0 – масса ударника.

Из выражения (1) определим v_{zn} . С учетом того, что при скоростях $\sim 0,3 \div 1,0$ км/с сопротивляемость проникновению ударника $f = H_\delta + \chi^* \rho_n v_{nn}$, получим

$$v_{zn} = \left[\frac{v_{nn}^2}{\exp\left(2\chi^* \frac{m_n}{m_0}\right)} - \frac{H_\delta}{\chi^* \rho_n} \left[\exp\left(2\chi^* \frac{m_n}{m_0}\right) - 1 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

С целью определения характерной формы дефектов корпуса объекта проведено экспериментальное исследование (рис. 2). **Опыт 1.** Образцы (стеклопластиковое покрытие и силовая оболочка [АМГ-6]) подвергались воздействию ударников (диаметр 5,45-мм; масса 0,0034 кг) с дистанции 100 метров после пробивания ими однослойного защитного экрана (АМГ-6). **Опыт 2.** Использовались те же ударники, что и в опыте № 1. Образцы устанавливались в положение, обеспечивающее углы встречи ударников с поверхностью от 0 до 90°. Перед образцами размещались два экрана (однослойный из [АМГ-6] и многослойный [сталь + ППН + сталь]). На рисунке представлен один из образцов.

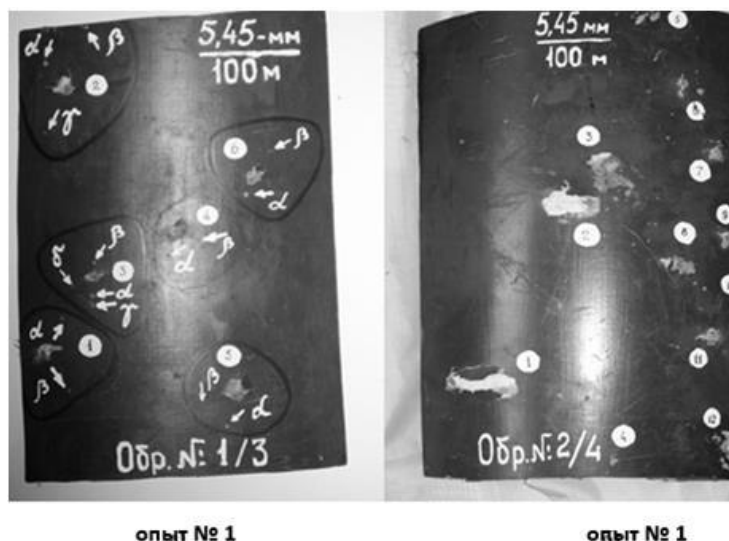


Рисунок 2 – Образцы после воздействия ударников [Samples after exposure to percussionists]

Анализ результатов показал:

- с отклонением до $\approx 20^\circ$ от нормали (углы встречи с поверхностью 70-90°) форма дефектов кратерообразная (каверна) или сквозное отверстие (пробой);
- канавообразный дефект отмечается при углах встречи 12-22° (опыт № 2);
- в некоторых случаях отмечалось внедрение ударника (пули) в покрытие

образца без рикошета (образец 2/4, дефект № 2 с деформацией силовой оболочки);

– поперечный размер осколков экрана, воздействовавших на образцы, достигал 9 мм (опыт № 1) и 16 мм (опыт №2), следовательно, при размещении дополнительных экранов, ожидается увеличение размеров осколков, воздействующих на мишень.

На рисунке 3 представлен образец (АМг-6 с многофункциональным покрытием) с результатами воздействия ударника (сталь) после прохождения защитного экрана (АМг-6) и без. Экран устанавливался перед образцом на расстоянии 50 мм.

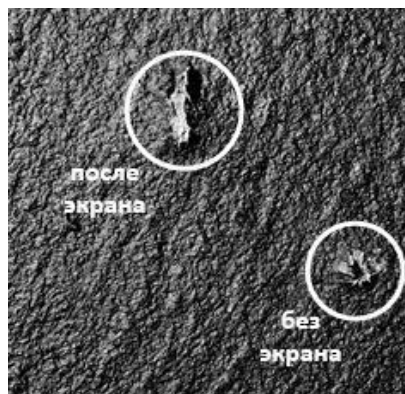
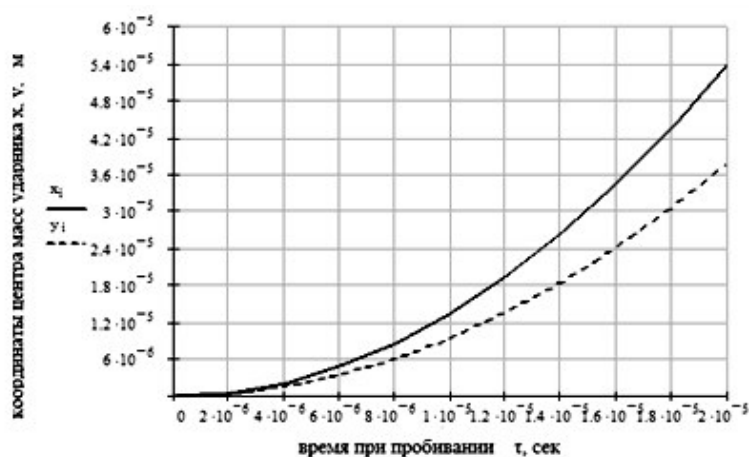
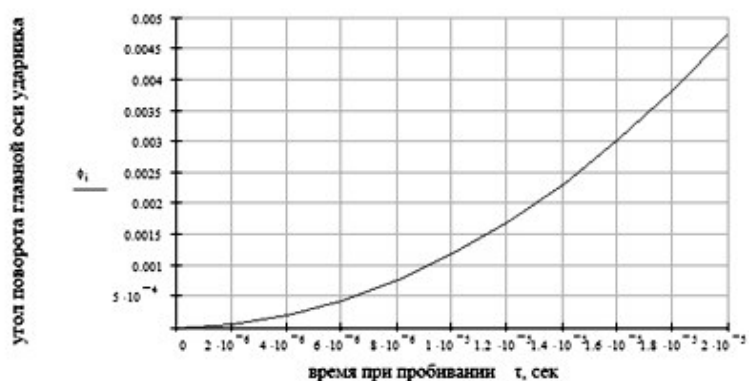


Рисунок 3 – Результаты воздействия ударника [The impact of firing pin]



а)



б)

Рисунок 4 – Зависимость изменения координат центра масс ударника (а) и угла поворота главной оси ударника (б) от времени при пробивании преграды [The dependence of firing pin mass coordinate center changing (a) and angle of the firing pin main axis (b) from time to time when launching new barriers]

На рисунке 4 представлены результаты расчета изменения значений координат x , y центра масс ударника (сталь) и угла поворота главной оси ударника φ после пробивания преграды (АМг-6). Геометрические размеры ударника брались следующими $R=2,0$ мм, $L=15$ мм, масса $m=1,4$ г, угол встречи $\beta = 87^\circ$. Скорость движения ударника до встречи с преградой 767 м/с, после пробивания 380 м/с (определялось экспериментально). Толщина преграды $h = 5$ мм.

Как уже отмечалось – конструкция экрана может быть однослойной и многослойной. Была проведена серия испытаний с одно, двух и трехслойными элементами защиты, имеющих как жесткий контакт между слоями, так и с разнесенными слоями (табл. 1). Толщина образцов варьировалась от 0,001 м до 0,003 м. Полученные результаты остаточных скоростей ударника ΔV сравнивались с результатами численных исследований.

Таблица 1 – Результаты испытаний [Test results]

Материал преграды		Толщина слоев, мм	ΔV , м/с
однослойная	АМг6	1,0	17
	АМг6	1,5	43
	АМг6	2,0	67
	АМг6	3,0	162
АМг6		1,0+1,0	80
АМг6		1,0+1,0+1,0	176
АМг6		1,0+10,0*+1,0	96
* - расстояние между разнесенными слоями (мм)			

В другой серии испытаний двухэлементной разнесенной преграды в качестве первого слоя использовался лист (сталь) толщиной 1,8 мм, а второго слоя – пакет из трех таких же слоев, находящихся в жестком контакте (5,4 мм). Фронтальный лист и пакет расположены на расстоянии 42 мм. После пробития первого листа пуля деформировалась, но сохраняла свою целостность, а при контакте с пакетом сердечник вдавливался в лист без сквозного пробития. В случае применения в качестве фронтального пакета толщиной после пробития выходит оголенный сердечник.

Исследования воздействия ударников с образцами многослойных конструкций экрана позволили определить, что при одинаковой суммарной толщине слоев преграды в целом, разные сочетания листов дают разные результаты (пробитие – непробитие) (рис. 5).

В эксперименте испытывалась двухслойная преграда. Скорость ударника перед преградой 140 м/с, диаметр ударника 4,5 мм, масса 0,52 г. В первом случае (рис. 5,а) наблюдается сквозное пробивание преграды ($v_{зп} = 31,5$ м/с), в другом случае (рис. 5,б) наблюдается частичное повреждение преграды, при котором часть ударников образует «вздутие» последнего слоя, остальные остаются в преграде с образованием лепестковой робоины.

Для многослойной преграды в выражении (2) последний член, записанный с учетом многослойности, имеет вид:

$$\sum_{i=1}^N \frac{H_{\partial i}}{\chi^* \rho_{ni}} \left[\exp \left(2\chi^* \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{m_0} \right) - 1 \right]. \quad (3)$$

Величина $\exp \left(2\chi^* \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{m_0} \right)$ имеет максимальное значение для последнего слоя,

поэтому в качестве последнего слоя для многослойной защиты следует выбирать слой

с наибольшим значением отношения H_o / ρ_n , а первый с наименьшим. Тогда преграда будет оказывать максимальное сопротивление пробиванию.

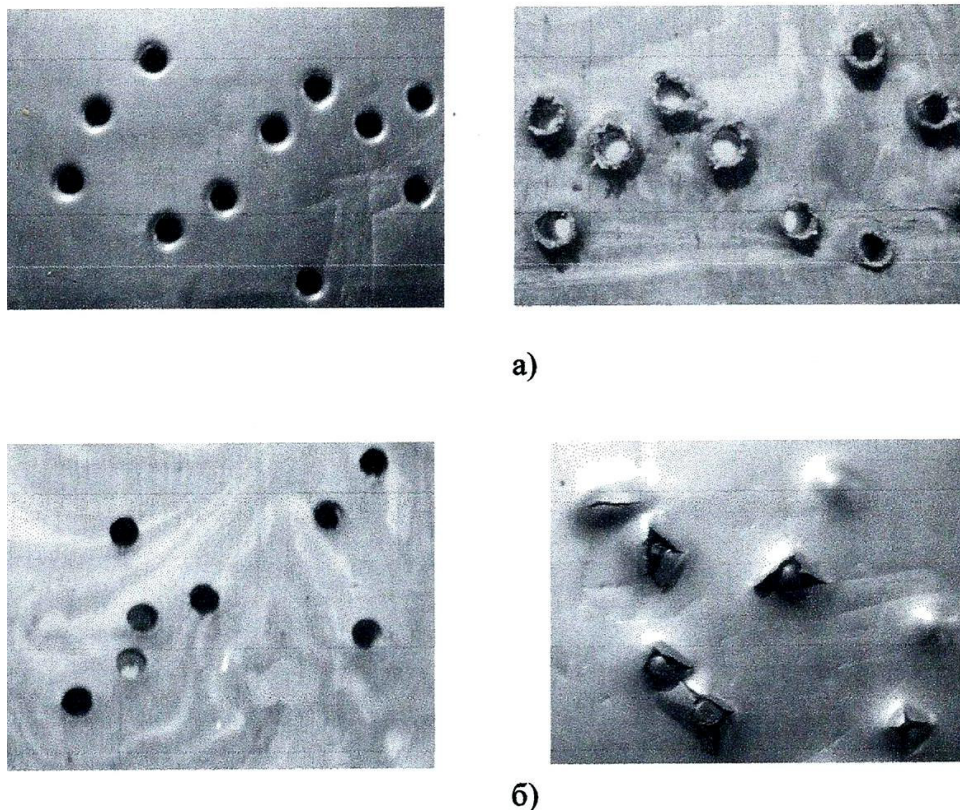


Рисунок 5 – Пробитие двухслойной преграды: а) металл – пластичная среда; б) пластичная среда – металл [Double-layer break barriers a) metal-plastic medium; b) plastic medium - metal]

С целью оценки проектных параметров и сравнения различных вариантов защитных экранов для минимальных значений массовых и энергетических характеристик рассматривается задача статической оптимизации. Ограничения по массе и габаритам заставляют рассматривать легкие конструкционные материалы с соответствующими физико-механическими характеристиками.

На рисунке 6 представлены образцы (АМг-6 с многофункциональным покрытием) с результатами воздействия ударника (пуля патрона 7Н6ВК) (рис. 6 в, г) после прохождения трехслойного защитного экрана (стеклопластик-ППН-стеклопластик) (рис. 6 а, б).

В данном эксперименте при пробивании фрагментов конструкции под прямым углом пуля, попадая в трехслойный экран, оставляет в нем свою оболочку и свинцовую рубашку, и при выходе из экрана воздействует на образец боковой поверхностью стального сердечника ($R=2,0$ мм, $L=15$ мм, масса $m=1,4$ г), что хорошо видно на рисунке 6,в.

Трехслойный экран подвергался обстрелу под различными углами. На рисунке 7 представлены результаты воздействия под углами 17° (рис. 7а) и 15° (рис. 7б).

При пробивании внешнего слоя (стеклопластик) пуля теряет оболочку и свинцовую рубашку, пройдя второй слой (ППН) сердечник подходит к последнему слою под углом $10-11^\circ$ и, отражаясь от него, остается внутри экрана.

Полученные результаты позволили принять ряд конструктивно-технических решений по пассивной защите подвижного агрегата с ядерной энергетической установкой от воздействия высокоскоростных ударников [8-11].

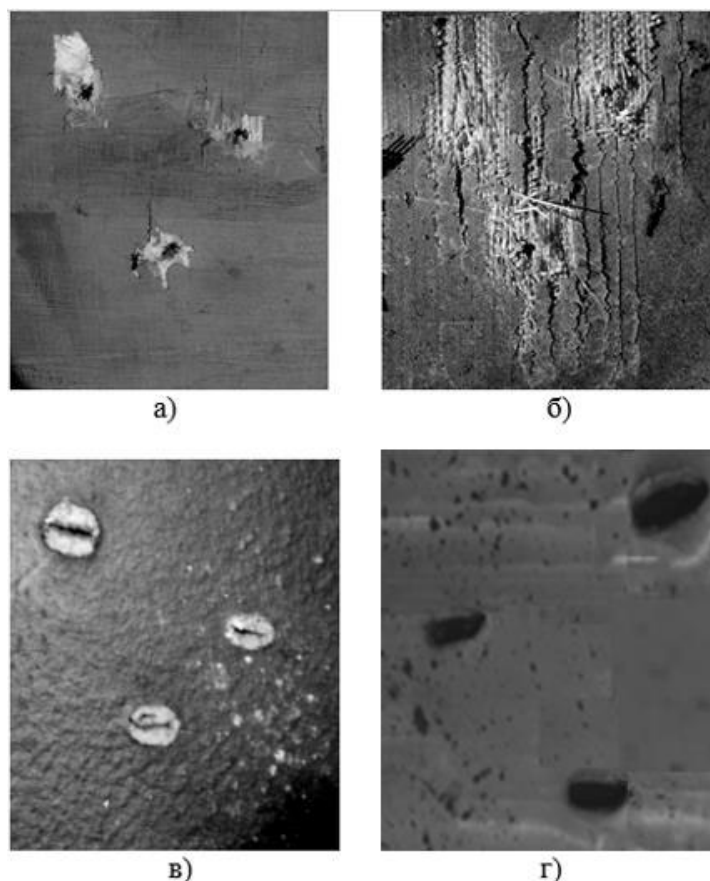


Рисунок 6 – Результаты эксперимента: а – многослойный экран (фронт); б – многослойный экран (тыл); в – образец (фронт); г – образец (тыл) [The results of the experiment: a – multi-layer screen (front); b – multi-layered screen (rear); c – sample (front); d – sample (rear)]

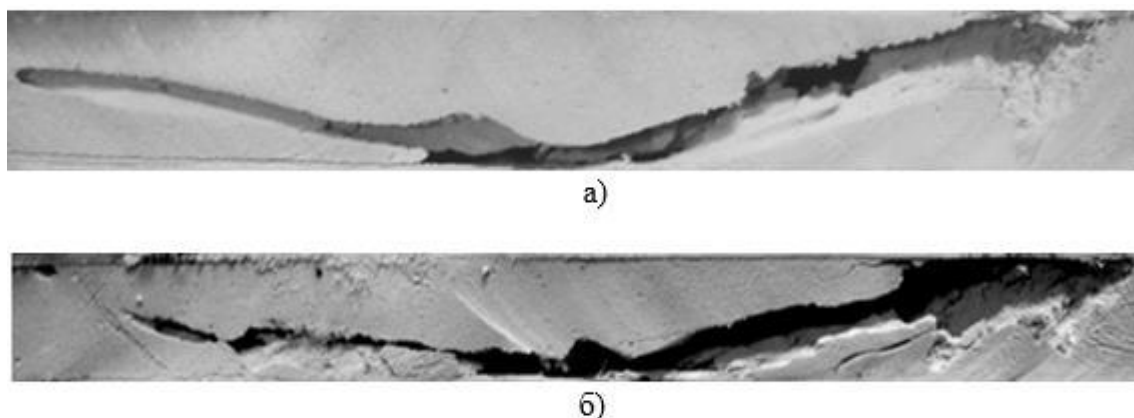


Рисунок 7 – Фрагмент трехслойного экрана [Slice three-layered screen]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губеладзе, О.А. Выбор критерия оценки стойкости транспортно-упаковочного комплекта с ядерно- и радиационно опасным объектом [Текст] / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе, С.М. Бурдаков // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 4 (21). – С. 16-21.
2. Губеладзе, О.А. Моделирование высокоскоростного удара [Текст] / О.А. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 1 (14). – С. 61-69.
3. 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 н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. – 278

- с.
4. Губеладзе, О.А. Исследование движения высокоскоростного ударника в многофункциональном покрытии перспективной конструкции контейнера с установкой, содержащей ядерноопасные делящиеся материалы [Текст] / О.А. Губеладзе, С.В. Федоренко, П.О. Губеладзе // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № S (спецвыпуск). – С. 134-136.
5. Губеладзе, О.А. Исследование эффективности системы охраны подвижного ядерно- и радиационноопасного объекта [Текст] / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе, С.М. Бурдаков // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 1 (26). – С. 36-46.
6. Губеладзе, О.А. Оценка результатов нерегламентированных воздействий на взрывоопасный объект [Текст] / О.А. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2011. – №1 (1). – С. 61-63.
7. Губеладзе, О.А. Экспресс-оценка результатов нерегламентированных деструктивных воздействий на ядерно- и радиационноопасный объект [Текст] / О.А. Губеладзе, А.Р. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – №4 (29). – С. 24-30.
8. Сахабудинов, Р.В. Научно-методические основы обеспечения физической защиты ядерноопасных объектов [Текст] / Р.В. Сахабудинов, О.А. Губеладзе. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2006. – 153 с.
9. Пат. Российская Федерация 2211434, МПК(51) F41H 5/04 (2000.01) F41H 11/08(2000.01) Защитное ограждение [Текст] / Краснов А.А., Ткачев В.П., Сахабудинов Р.В. заявитель и патентообладатель, Краснов А.А., Ткачев В.П. № 2002116356/02; заявл. 17.06.02; опубл. 27.08.03. Бюл. № 24 – 8 с.
10. Пат. Российская Федерация 2229675, МПК(51) F41H 5/14 (2000.01) Мобильный развешиваемый защитный экран [Текст] / Краснов А.А., Ткачев В.П., Сахабудинов Р.В.; заявитель и патентообладатель, Краснов А.А., Ткачев В.П. № 2003106026/02; заявл. 03.03.03 опубл. 27.05.04. Бюл. № 15 – 13 с.
11. Пат. Российская Федерация 2399857, МПК(51) F41H 7/00 (2006.01) Бронетранспортер с трансформируемым защитным экраном [Текст] / Краснов А.А., Сахабудинов Р.В., Федоренко С.В.; заявитель и патентообладатель, Краснов А.А., Сахабудинов Р.В. № 2009143302/02; заявл. 25.11.09 опубл. 20.09.10. Бюл. № 26 – 8 с.

REFERENCES

- [1] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R., Burdakov S.M. Vybor kriterija otsenki stoykosti transportno-upakovochного комплекта s jaderno- i radiatsionno opasnym ob'ektom [Criterion Choice for Evaluation of Transport and Packing Set Firmness with Nuclear and Radiation Dangerous Object]. Global'naya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2016. № 4. P. 16-21 (in Russian).
- [2] Gubeladze, O.A. Modelirovanie vysokoskorostnogo udara [Modeling of High-Speed Blow]. Global'naya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2015. №1. P. 61-69 (in Russian).
- [3] Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I. Kompleksnaya bezopasnost' naseleniya i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh. [Complex Safety of the Population and Territories in Emergency Situations. Problems and Solutions]. Rostov on Don. Don State technical university [Publishing center of Don State technical university]. 2016. 278 p. (in Russian).
- [4] Gubeladze O.A., Fedorenko S.V., Gubeladze P.O. Issledovanie dvigeniya vysokoskorostnogo udarnika v mnogofunktsionalnom pokrytii perspektivnoy konstruktssii kontejnera s ustanovkoj, sodergashchej jadernoopasnye deljashchiesja materialy [Study of High-Speed Traffic Drummer in Multifunctional Coating Prospective Container Design to Installation, Contains the Nuclear-Dangerous Fissile Materials] Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Texnicheskie nauki [Scientific Educational and Applied Journal. University news of North-Caucasian Region. Technical Science Series. Application]. 2010. Special Issue. P. 134-136 (in Russian).
- [5] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R., Burdakov S.M. Issledovanie effektivnosti sistemy okhrany podvignogo jaderno- i radiatsionno opasnogo ob'ekta [Research of the Protection System Effectiveness for a Mobile Nuclear and Radiation Hazardous Facility] Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2018. №1 (26). P. 36-46 (in Russian).
- [6] Gubeladze O.A. Otsenka rezul'tatov nereglamentirovannykh vozddeystviy 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).
- [7] Gubeladze O.A., Gubeladze A.R. Ekspress-otsenka rezul'tatov nereglamentirovannykh destruktivnykh vozddeystvij na jaderno- i radiatsionno opasnyj 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).
- [8] Sakhabudinov R.V., Gubeladze O.A. Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniya fizicheskoy zashchity yadernoopasnykh ob'ektov. [Scientific and Methodical Bases of Ensuring Physical Protection of Nuclear-Dangerous Objects]. Rostov-on-Don. «LLC Terra» [«Terra» Limited Liability Company]. 2006. 153 p. (in Russian).
- [9] Krasnov A.A., Tkachev V.P., Saxabudinov R.V. Zashchitnoe zagragdenie [Protective Boom]. Patent RF, № 2211434, 2003 (in Russian).
- [10] Krasnov A.A., Tkachev V.P., Saxabudinov R.V. Mobilnyj razvertyvaemyj zashchitnyj ekran [Mobile Expandable Protective Screen]. Patent RF, № 2229675, 2004 (in Russian).
- [11] Krasnov A.A., Saxabudinov R.V., Fedorenko S.V. Bronetransporter s transformiruemym ekranom [Armored Personnel Carrier with Transformable Protective Screen]. Patent RF, № 2399857, 2009 (in Russian).

Passive Protection Development of the Mobile Unit of Nuclear and Radiation Hazardous Objects

O.A. Gubeladze¹, A.R. Gubeladze²

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

¹*ORCID iD: 0000-0001-6018-4989*

WoS Researcher ID: F-6921-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

²*ORCID iD: 0000-0002-6966-6391*

WoS Researcher ID: F-7215-2017

e-mail: buba26021966@yandex.ru

Abstract – Improving the means of protecting mobile nuclear and radiation hazardous objects (NRHFs) from kinetic impactors should be achieved through the use of new materials, the use of multilayer structures with separated and multi-oriented layers, the use of rebound properties, and the refraction of the impactor's trajectory during the passing through barrier. The article presents some results of experimental studies aimed at making constructive and technical solutions implementing various principles of mobile NRHF protection.

Keywords: conventional weapons, kinetic impactors, protective shield, nuclear and radiation hazardous object