

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 539.42

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ТРАНСПОРТНО-УПАКОВОЧНОГО КОМПЛЕКТА С ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫМ ОБЪЕКТОМ

© 2016 О.А. Губеладзе*, А.Р. Губеладзе**, С.М. Бурдаков*

* Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

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

Исследование посвящено повышению защищенности транспортно-упаковочного комплекта с ядерной установкой от воздействия высокоскоростных ударников. Решена задача выбора критерия оценки стойкости мобильного объекта с защитной конструкцией.

Ключевые слова: транспортно-упаковочный комплект (ТУК), стойкость, ударник, ядерно- и радиационно опасный объект (ЯРОО), конструктивные методы защиты, критерий оценки стойкости ТУК, величина угла подхода ударника.

Поступила в редакцию 10.12.2016

Одним из наиболее опасных процессов на этапе эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО) является транспортирование. Вопросы обеспечения безопасности данного процесса отражены в различных руководящих и нормативных документах [1, 2, 3]. Для перевозки ЯРОО используются различные транспортные упаковочные комплекты (ТУК). Сущность требований к упаковкам, содержащим ЯРОО, сводится к тому, что такой материал должен упаковываться и перевозиться способом, полностью исключая достижение критической массы и возникновение самоподдерживающейся цепной реакции при обычных и аварийных условиях перевозки. Существующие в настоящее время конструкции транспортно – упаковочных комплектов не обеспечивают достаточно эффективной защиты от воздействия высокоскоростных ударников. В первую очередь следует обратить внимание на значительное уменьшение скорости ударника за преградой (т.е. после пробития оболочки ТУК). Это обуславливается не только увеличением радиусов зон охраны от поражения мобильных агрегатов, а еще от параметров и характеристик ударника (масса, угол подхода, место воздействия) [2].

В данной работе повышение защищенности ТУК с ядерной установкой, от воздействия высокоскоростных ударников предлагается обеспечить техническими мероприятиями, к которым относятся конструктивные методы защиты.

При выборе критериев необходимо следовать следующим принципам:

- критерий должен соответствовать масштабу исследований;
- критерий, по возможности, учитывает как можно больше факторов, определяющих стойкость объекта;
- выбор такого критерия, при котором показатели стойкости объекта легко вычисляется;
- ясный физический смысл критерия.

Для решения задачи предлагается следующая модель. Рассмотрим корпус ТУК, состоящий из N -слоев. Каждый слой характеризуется своим набором конструктивных параметров:

$$\{u_1^i, u_2^i, u_3^i, \dots, u_r^i\}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Взаимодействие слоев преграды с ударником может определяться совокупностью уравнений их математического описания, включающих функциональные преобразования в слоях:

$$\begin{aligned} v_{nn}^{i+1} &= F_1(v_{nn}^i, q_{nn}^i, \rho_{nn}^i, u_1^i, u_2^i, \dots, u_r^i); \\ q_{nn}^{i+1} &= F_2(v_{nn}^i, q_{nn}^i, \rho_{nn}^i, u_1^i, u_2^i, \dots, u_r^i); \\ \rho_{nn}^{i+1} &= F_3(v_{nn}^i, q_{nn}^i, \rho_{nn}^i, u_1^i, u_2^i, \dots, u_r^i), \end{aligned} \quad (2)$$

где v_{nn}^i – скорость ударника на входе в i -слой;

v_{zn}^i – скорость ударника на выходе из i -слоя;

q_{nn}^i – геометрическая характеристика ударника перед преградой (i -слоем);

q_{zn}^i – геометрическая характеристика ударника после пробития преграды (i -слоя);

ρ_{nn}^i – плотность ударника перед преградой (i -слоем);

ρ_{zn}^i – плотность ударника после пробития преграды (i -слоя).

Причем, $v_{nn}^{i+1} = v_{zn}^i$; $\rho_{nn}^{i+1} = \rho_{zn}^i$; $q_{nn}^{i+1} = q_{zn}^i$.

Тогда обозначим,

$$\begin{aligned} v_{nn}^1 &= v_{zn}^0 = v_1; \\ v_{nn}^2 &= v_{zn}^1 = v_2; \\ v_{nn}^3 &= v_{zn}^2 = v_3; \\ v_{nn}^n &= v_{zn}^{n-1} = v_n. \end{aligned}$$

Ограничения на конструктивные параметры запишутся в виде:

$$d_j(u_1^i, \dots, u_r^i) \leq 0, \quad j = 1, \dots, q_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (3)$$

где q_i – количество ограничений на конструктивные параметры i -го слоя.

С учетом ограничений по режимным параметрам (характеристики ударника):

$$D_j(v_i, \rho_i, q_i, u_1^i, \dots, u_r^i) \leq 0, \quad j = 1, \dots, q_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (4)$$

Анализируя принятый критерий, отличим, что он представляет собой функциональную зависимость вида

$$J = \sum_{i=1}^N Q_i(v_i, \rho_i, q_i, u_1^i, \dots, u_r^i), \quad (5)$$

где Q_i – зависимость, отражающая вклад i -го слоя в целевую функцию и являющаяся функцией от режимных и конструктивных параметров этого слоя.

Представим пробитие многослойной конструкции в виде многошагового процесса, схема которого представлена на рисунке 1.

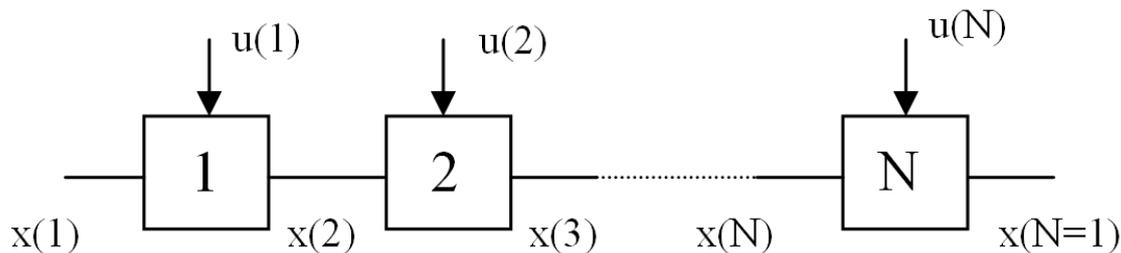


Рис. 1. – Схема процесса

Функция цели теперь выражается в виде:

$$J = \sum_{i=1}^N \varphi(x(i), u(i), i), \quad (6)$$

где φ – функция, зависящая от номера слоя i .

Для N – слойного корпуса ТУК скорость ударника за преградой (пробитие при $\alpha = 90^\circ \div 70^\circ$) определяется из выражения [5].

$$v_{zn}^{ТУК} = v_{N+1} = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{v_{i-1}^2}{\exp\left(2\chi^* \frac{m_i}{m_0}\right)} - \frac{H_{\sigma i}}{\chi^* \rho_{ni}} \left(\exp\left(2\chi^* \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{m_0}\right) - 1 \right) \right) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Обозначим $v_{nn}^{ТУК} - v_{zn}^{ТУК} = \Delta v^{ТУК}$. Одним из путей повышения стойкости объекта к подобным воздействиям является использование дополнительных защитных конструкций.

Общее снижение скорости ударника (для случая применения простых заслонов - дополнительных слоев) определится:

$$\Delta v_{\Sigma} = \Delta v^{ТУК} + \Delta v^{зк}. \quad (8)$$

При расположении защитных конструкций из L -слоев на некотором расстоянии внешней поверхности ТУК:

$$\Delta v_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{v_{i-1}^2}{\exp\left(2\chi^* \frac{m_i}{m_0}\right)} - \frac{H_{\sigma i}}{\chi^* \rho_{ni}} \left(\exp\left(2\chi^* \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{m_0}\right) - 1 \right) \right) \right]^{\frac{1}{2}} + \left[\sum_{i=1}^L \left(\frac{v_{i-1}^2}{\exp\left(2\chi^* \frac{m_i}{m_0}\right)} - \frac{H_{\sigma i}}{\chi^* \rho_{ni}} \left(\exp\left(2\chi^* \sum_{i=1}^L \frac{m_i}{m_0}\right) - 1 \right) \right) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (9)$$

С учетом ограничений на массу и габариты защитной конструкции критерий оценки стойкости будет иметь вид:

$$K = k_3 \left(\frac{\Delta v^{3k.}}{\sum_{l=1}^L m'_l} \right) + \frac{\Delta v^{TVK}}{\sum_{i=1}^N m'_i}, \quad (10)$$

где m'_l и m'_i – массы l -го и i -го слоев защитной конструкции и сегмента корпуса ТУК соответственно;

k_3 – коэффициент защищенности, учитывающий долю поверхности обстреливаемой поверхности ТУК закрытой защитной конструкцией.

Определим величину критерия (10) для гипотетического ТУК. Оценку проведем без учета наличия силовых элементов конструкции.

Так как дополнительная защита отсутствует, то принимаем $k_3 = 0$, тогда:

$$K = \frac{\Delta v^{TVK}}{\sum_{i=1}^N m'_i}. \quad (11)$$

В рассматриваемом примере величина K принимает значения, представленные в таблице 1.

В случае использования простейшей защитной конструкции (щит толщиной $\delta_3 = 3$ мм, материала АМг-6) для различных k_3 , критерий будет принимать значения, представленные в таблице 2.

Таблица 1. – Значения K незащищенной конструкции

$L, м$	K			
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$
10	0,1025	0,1175	0,1540	0,1900
100	0,1125	0,1280	0,1705	0,2000
500	0,1250	0,1400	0,1835	0,2130

Таблица 2. – Значения K конструкции с простейшей защитой

$L, м$	k_3	K			
		$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$
10	0,5	0,8167	0,9151	1,1659	1,4192
	1,0	1,5310	1,7127	2,1778	2,6483
500	0,5	0,9583	1,0477	1,3352	1,5553
	1,0	1,7916	1,9555	2,4870	2,8975

Проведенный анализ полученных результатов показал, что существенное влияние на уменьшение Δv_Σ оказывает величина угла подхода ударника к преграде α .

Для определения уровней стойкости защитных преград теперь имеются все необходимые параметры. Обобщая вышесказанное можно представить методику оценки стойкости мобильных агрегатов с ТУК и средств защиты к воздействию

ударников в виде алгоритма, представленного на рисунке 2.

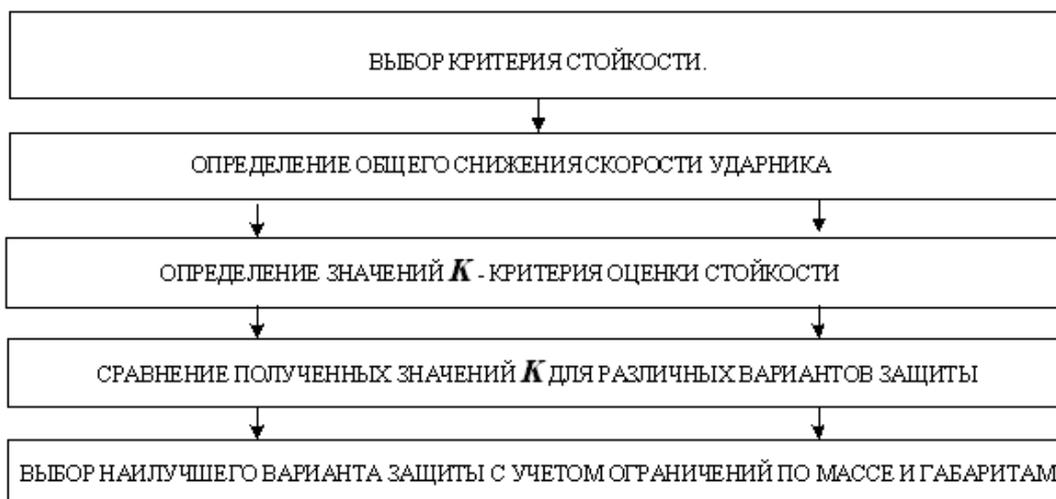


Рис. 2. – Алгоритм оценки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 №170-ФЗ (действующая редакция, 2016) [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Консультант Плюс». – Режим доступа: URL: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450 – 22.11.2016.
2. ГОСТ 12916-89. Транспортирование радиоактивных веществ. Термины и определения. [Текст] – М.: Издательство стандартов, 1990. – 10 с.
3. Приказ Ростехнадзора от 07.06.2013 №248 (ред. от 22.09.2015) «Об утверждении Административного регламента по исполнению Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной функции по федеральному государственному надзору в области использования атомной энергии» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.07.2013 №29174) [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании «Консультант Плюс». – Режим доступа: URL: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150393 – 22.11.2016.
4. Сахабудинов, Р.В. и др. Научно-методические основы обеспечения физической защиты ядерноопасных объектов [Текст] / Р.В. Сахабудинов, О.А. Губеладзе. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2006. – 153 с.
5. Губеладзе, О.А. Моделирование высокоскоростного удара [Текст] / О.А. Губеладзе // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – №1. – С. 61–69.

REFERENCES

- [1] Federalnyi zakon «Ob ispolzovanii atomnoi energii» ot 21.11.1995 №170-FZ (deistvuiushchaia redaktsiia, 2016) [The federal law "About Use of Atomic Energy" from 11/21/1995 № 170-FL (the current version, 2016)]. Ofitsialnyi sait kompanii «Konsultant Plus» [Official site of the Consultant Plus company]. Available at: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450 (in Russian)
- [2] GOST 12916-89. Transportirovanie radioaktivnykh veshchestv. Terminy i opredeleniia [State Standart 12916-89. Transportation of radioactive materials. Terms and definitions]. M. Pub. Izdatelstvo standartov [Standards Publishing House], 1990. 10 p. (in Russian)
- [3] Prikaz Rostekhnadzora ot 07.06.2013 №248 (red. ot 22.09.2015) «Ob utverzhdanii Administrativnogo reglamenta po ispolneniiu Federalnoi sluzhboi po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru gosudarstvennoi funktsii po federalnomu gosudarstvennomu nadzoru v oblasti ispolzovaniia atomnoi energii» (Zaregistrirvano v Miniuste Rossii 25.07.2013 №29174) [The order of Rostekhnadzor from 6/7/2013 № 248 (an edition from 9/22/2015) "About the approval of Administrative regulations on execution of the state function by Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision on federal state

- supervision in the field of use of atomic energy" (It is registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 7/25/2013 № 29174)]. Ofitsialnyi sait kompanii «Konsultant Plus» [Official site of the Consultant Plus company]. Available at: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150393 (in Russian)
- [4] Sakhabudinov R.V., Gubeladze O.A. Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniia fizicheskoi zashchity iadernoopasnykh obiektov [Scientific and methodical bases of ensuring physical protection of nuclear-dangerous objects]. Rostov-on-Don. Pub. ООО «Терра» [LLC Terra], 2006. 153 p. (in Russian)
- [5] Gubeladze, O.A. Modelirovanie vysokoskorostnogo udara [Modeling of high-speed blow]. Globalnaia iadernaia bezopasnost [Global nuclear safety]. 2015, №1, ISSN 2305-414X, pp. 61–69. (in Russian)

Criterion Choice for Evaluation of Transport and Packing Set Firmness with Nuclear and Radiation Dangerous Object

O.A. Gubeladze^{*1}, A.R. Gubeladze^{1}, S.M. Burdakov^{*2}**

** Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 34736*

*** Don State Technical University*

Gagarin square 1, Rostov-on-Don, Russia, 344000

¹e-mail: buba26021966@yandex.ru, ²e-mail: SMBurdakov@mephi.ru

Abstract – One of the most dangerous processes at an operational phase of nuclear and radiation dangerous objects (NuRDO) is transportation. Various transport packing sets (TPS) are used for transportation of NuRDO. Work is performed within the researches of increase in security of a transport and packing set with nuclear installation from high-speed drummer influence. The problem of the choice of criterion for evaluation of firmness of a mobile object with a protective design is considered.

Keywords: transport and packing set (TPS), firmness, drummer, nuclear and radiation dangerous object (NuRDO), constructive methods of protection, criterion for evaluation of TPS firmness, angle size of drummer approach.