

Машиностроение и машиноведение

УДК 62-213.34

Прочность и герметичность гермокапсулы при аварийном падении с различных высот

Н.Н. Тулаева^{1,2}, М.А. Липатников², И.В. Минаев², А.А. Табатчиков²

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)

² ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина»

Hermetically sealed capsule strength and integrity under the emergency fall from different heights

N.N. Tulaeva^{1,2}, M.A. Lipatnikov², I.V. Minaev², A.A. Tabatchikov²

¹ South Ural State University (National Research University)

² All-Russian Scientific Research Institute of Technical Physics (VNIITF)

Гермокапсула является основным контуром герметизации системы обеспечения экологической безопасности для выполнения экспериментов по исследованию динамических свойств материалов. Для обоснования безопасности при выполнении транспортно-технологических операций проведены численные расчеты методом конечных элементов. Проанализировано напряженно-деформированное состояние элементов гермокапсулы при аварийных падениях с технологических высот на абсолютно жесткое основание. Оценена работоспособность системы герметизации по сохранению прочности основных силовых элементов конструкции, включая болтовые соединения. Для верификации полученных численных оценок выполнены натурные испытания наиболее опасного случая аварийного падения гермокапсулы с двухметровой высоты. Показано, что результаты эксперимента и численного моделирования хорошо согласованы. По данным численных расчетов с использованием верифицированной конечно-элементной модели гермокапсулы спрогнозировано сохранение ее прочности и герметичности при автономном падении с двухметровой высоты и ее падении в составе транспортного контейнера с девяти метров.

EDN: TGCMTT, <https://elibrary/tgcmitt>

Ключевые слова: прочность и герметичность гермокапсулы, численное моделирование, аварийное падение, транспортный контейнер

Hermetically sealed capsule is the main sealing circuit in the ecological safety system to conduct experiments studying the material dynamic properties. Numerical calculations were performed using the finite element method to justify safety during transport and technological operations. Stress-strain state of the hermetically sealed capsule elements was analyzed during emergency falls from technological heights onto the absolutely rigid base. The sealing system performance in maintaining the main structural elements strength, including the bolted connections, was assessed. To verify the obtained numerical estimates, full-scale tests were carried out in the most dangerous case of an emergency fall of the hermetically sealed capsule from the two-meter height. The paper shows that the experiment and numer-

ical simulation results are in good agreement. According to numerical calculations using the verified finite element model of the hermetically sealed capsule, strength and tightness preservation is predicted when a hermetically sealed capsule falls autonomously from two meters and from nine meters as part of the transport container.

EDN: TGCMTT, <https://elibrary/tgcmmt>

Keywords: hermetically sealed capsule strength and integrity, numerical simulation, emergency fall, transport container

На сегодняшний день исследование физических и механических свойств материалов, подвергаемых интенсивным динамическим нагрузкам, является важной задачей, имеющей большое практическое значение для современной техники различного назначения [1–3]. Это подтверждает значительное количество статей и патентов на полезную модель по данной тематике, выполненных сотрудниками ядерных центров [4–6].

В рамках работы РФЯЦ-ВНИИТФ [7] разработана конструкция системы экологической безопасности для проведения специальных испытаний. Основным контуром герметизации этой системы служит гермокапсула, предназначенная для локализации аэрозолей после экспериментального исследования динамических свойств материалов [8].

Для безопасного проведения эксперимента разработаны различные конструктивные варианты гермокапсул (рис. 1, а–г). В первом из них

(см. рис.1, а) гермокапсула состоит из самостоятельного отсека, остальные элементы системы экологической безопасности вынесены за пределы основного корпуса.

Конструкция гермокапсулы в виде последовательного соединения отсеков с затворами, промежуточного и мишенного отсеков (см. рис. 1, б и г) исключены из рассмотрения после проведения предварительных оценочных расчетов.

Наиболее предпочтительным является вариант с последовательным соединением отсеков (см. рис. 1, г). Отсеки в процессе сборки на рабочей позиции соединяют в единое жесткое целое и в дальнейшем не разбирают. После проведения эксперимента они представляют собой цельную отработанную гермокапсулу (ОГК), которую в дальнейшем транспортируют на место технологической выдержки.

В ходе проведения транспортно-технологических операций происходит подъем ОГК на

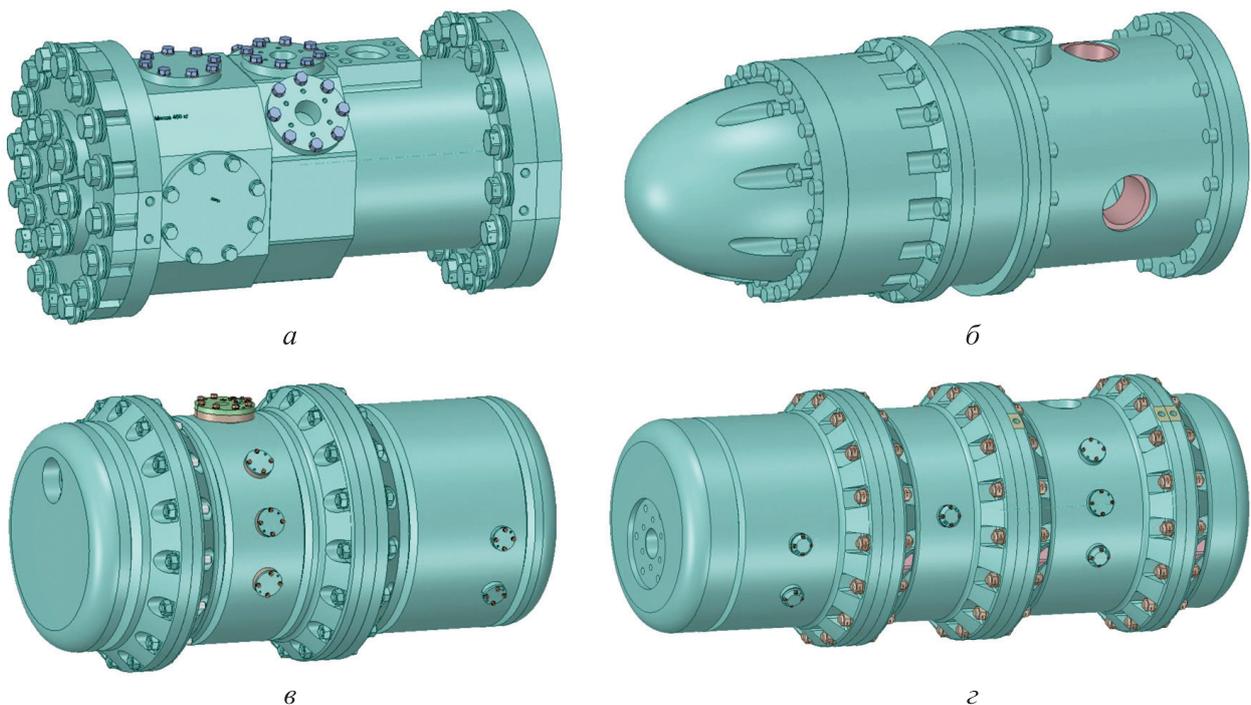


Рис. 1. Внешний вид различных ОГК

высоту $h = 2$ м и опускание на $h = 9$ м. В случае аварийного падения оборудования ОГК должна выполнять основную функцию — оставаться герметичной.

Цель работы — численное моделирование аварийного падения ОГК с высот $h = 2$ и 9 м для оценки ее прочности и герметичности с помощью метода конечных элементов [9–11].

Численное моделирование. Расчетная модель.

На базе геометрической модели разработана трехмерная конечно-элементная модель ОГК (рис. 2).

Основной силовой элемент ОГК (корпус) выполнен из стали 09Г2С [12, 13], все крепежные изделия — из стали 30ХГСА. Физико-механические характеристики материалов, использованные в расчете, приведены в табл. 1 [14, 15].

При создании расчетной модели приняты следующие допущения и упрощения:

- резьбовые соединения деталей заданы жесткими соединениями (контакты со склейкой) двух поверхностей;
- учтено действие силы тяжести с целью корректного моделирования удара при отскоке;
- элементы конструкции, не влияющие на прочность корпуса, учтены в виде добавочной массы;
- в качестве преграды выступает абсолютно жесткое тело;
- усилие предварительного поджатия болтов (болтовое соединение отсеков) соответствует создаваемому напряжению, равному половине предела текучести материала болтов.

Принятие допущения об абсолютно жесткой преграде делает оценку о сохранении прочности и герметичности ОГК консервативной.

В качестве начальных условий всем узлам конечно-элементной модели заданы скорости

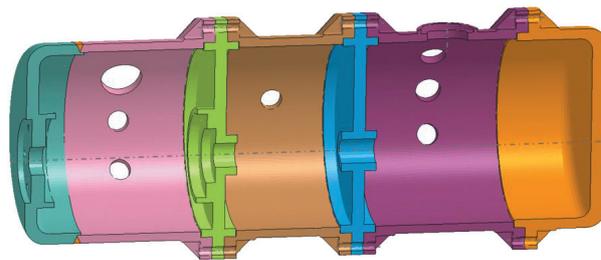


Рис. 2. Расчетная модель корпуса ОГК

движения $v_0 = 6,3$ и $13,3$ м/с, соответствующие высотам падения $h = 2$ и 9 м.

Динамическое поведение и напряженно-деформированное состояние (НДС) основных элементов ОГК рассмотрены для пяти расчетных случаев аварийного падения:

- боковой поверхностью (0° между продольной осью ОГК и основанием);
- днищем и крышкой под углом 45° между продольной осью ОГК и основанием;
- поверхностью дна и крышки (90° между продольной осью ОГК и основанием).

По результатам численного моделирования указанных расчетных случаев выполним оценку герметизации ОГК. Систему герметизации элементов сборки будем считать работоспособной, если сохранены следующие параметры:

- прочность деталей корпуса ОГК и болтового соединения;
- работоспособность герметизирующего уплотнения.

Принимаем, что прочность элементов конструкции ОГК нарушается при достижении максимальной пластической деформации в элементе конструкции относительного удлинения после разрыва δ .

Герметизирующее уплотнение будет являться неработоспособным при наличии зазоров, превышающих допустимую величину раскрытия стыков, которую можно найти исходя из худших

Таблица 1

Физико-механические характеристики материалов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$, МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Модуль упрочнения E' , МПа	Относительное удлинение после разрыва δ , %
Сталь 09Г2С	7800	2,0	300	460	760	21
Сталь 30ХГСА	7800	2,0	830	1000	1685	10
Сталь 3	7800	2,0	235	430	720	27
Медь М1	8900	1,1	80	235	480	50
Д16	2800	0,7	255	390	1120	12

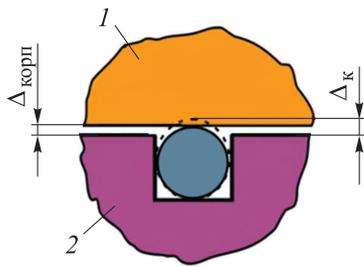


Рис. 3. Схема герметизирующего стыка:
1 — фланец; 2 — корпус

сочетаний обжатия уплотнительных колец и допусков на изготовление элементов корпуса.

С учетом допусков на размер элементов корпуса в местах нахождения резиновых уплотнителей зазор между корпусными деталями $\Delta_{\text{корп}} = 0 \dots 0,27$ мм (рис. 3). Обжатие уплотнительных колец при реализации худших допусков на корпусные детали и уплотнительное кольцо соответствует $\Delta_{\text{к}} = 0,68 \dots 1,10$ мм. Таким образом, допускаемое раскрытие стыков для сохранения герметизации $\Delta = \Delta_{\text{к}} - \Delta_{\text{корп}} = 0,41$ мм. Превышение этого значения приводит к разгерметизации.

Численное моделирование автономного падения ОГК. Анализ НДС ОГК показал, что самым опасным является падение на днище и крышку под углом 45° . В этих расчетных случаях происходит несколько ударов корпуса о жесткое основание. Наибольшую нагруженность ОГК испытывает при первом ударе. В месте контакта с жесткой поверхностью формируются локальные области пластической деформации.

При падении ОГК с высоты $h = 2$ м на днище и крышку под углом 45° максимальное значение пластической деформации после первого удара

составляет 15 и 13 % соответственно. Для всех рассмотренных расчетных случаев аварийного падения ОГК с этой высоты максимальные величины раскрытия стыков в местах установки герметизирующих уплотнений не превышают 0,1 мм при допускаемом значении 0,41 мм. Спрогнозировано сохранение системы герметизации.

При падении ОГК с высоты $h = 9$ м на днище и крышку под углом 45° максимальное значение пластической деформации достигает предельной величины 21 % как после первого удара, так и после второго (рис. 4). Анализ НДС болтового соединения показал, что болт со стороны контакта с преградой испытывает наибольшую нагруженность после второго удара. По всему поперечному сечению наблюдается пластическая деформация, превышающая допускаемое значение $\delta = 10$ %. Остальные болты работают в упругой области деформирования. Спрогнозировано нарушение прочности элементов ОГК.

Максимальное раскрытие стыков в местах нахождения резиновых уплотнителей происходит между корпусом и крышкой после второго удара в случае падения на днище и достигает 2,00 мм, что превышает допускаемое значение 0,41 мм. Спрогнозировано нарушение герметизации.

Таким образом, при падении с высоты $h = 9$ м прочность и герметичность сборки не будут обеспечены. Для снижения нагруженности ОГК в конструкцию можно ввести внешний демпфирующий элемент.

Чтобы верифицировать расчетную модель ОГК, необходимо экспериментально подтвердить ее работоспособность. Так как результаты



Рис. 4. Распределение пластической деформации $\varepsilon_{\text{пл}}$, %, в корпусе ОГК при автономном падении с высоты $h = 9$ м под углом 45° на днище (а) и крышку (б) после второго удара

численного моделирования показали сохранение прочности и герметичности ОГК при автономном падении с высоты $h = 2$ м, предложено провести одно натурное испытание опасного случая падения с этой высоты.

Результаты натурных испытаний. Проведено экспериментальное исследование прочности и герметичности ОГК при автономном падении на жесткое стальное днище (наиболее опасный случай) с высоты $h = 2$ м под углом $45 \pm 5^\circ$. С помощью регистрирующей фото- и видеоаппаратуры зафиксированы моменты подлета, соударения и отскока.

При первом ударе о преграду образовалась вмятина длиной примерно 120 мм и шириной около 35 мм. В результате удара ОГК после отскока сформировались две вмятины на кромке (60×27 мм) и фланце крышки (81×14 мм). Эти повреждения не оказали влияния на разборку и сборку ОГК. Испытания на герметичность до и после сброса показали сохранение герметичности корпуса ОГК.

При расчетном моделировании данного случая падения ОГК после первого удара возникает зона пластического сжатия длиной и шириной примерно 140 и 34 мм соответственно. В случае удара после отскока описана локальная зона пластической деформации фланцевого соединения в области контакта с преградой. Сделан вывод о сохранении герметичности корпуса ОГК.

Результаты численного моделирования автономного падения ОГК с высоты $h = 2$ м хорошо согласованы с экспериментальными данными, что свидетельствует об адекватности расчетной модели.

Численное моделирование падения ОГК в составе транспортного контейнера (ТК). Согласно численным расчетам автономного падения ОГК с высоты $h = 9$ м для сохранения ее работоспособности необходимо ввести внешний демпфер. В качестве такового может выступать ТК. Поскольку расчетная модель ОГК верифицирована, проведено численное моделирование ее аварийного падения в составе ТК.

К конструкции ТК предъявлены следующие требования: размещение в своем объеме ОГК и ее сохранность при транспортировании; обеспечение целостности и герметичности ОГК после аварийного падения с высоты $h = 9$ м при допущении деформации элементов ТК.

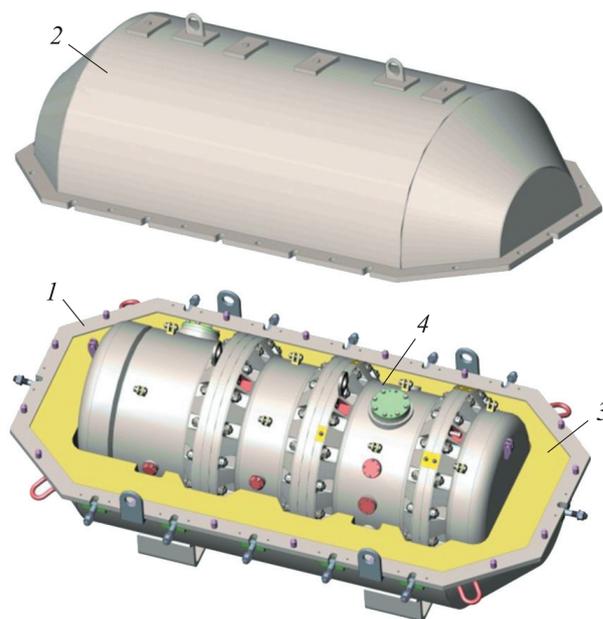


Рис. 5. Модель ОГК в составе ТК

Для соответствия указанным требованиям разработан ТК, состоящий из двух разъемных частей — основания 1 и крышки 2 — с внутренним наполнением в виде пенопластовых вкладышей 3. Основание и крышка жестко закреплены после размещения ОГК 4 внутри ТК (рис. 5).

Крышка и основание выполнены из углеродистой стали 3, внутренние вкладыши — из пенопласта ПС-1 со следующими физико-механическими характеристиками: плотность $\rho = 350$ кг/м³; модуль упругости $E = 250$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu = 0,1$. Для описания поведения материала вкладышей задана диаграмма деформирования пенопласта ПС-1 на сжатие (рис. 6).

Анализ НДС ОГК при падении в составе ТК с девятиметровой высоты показал, что при всех

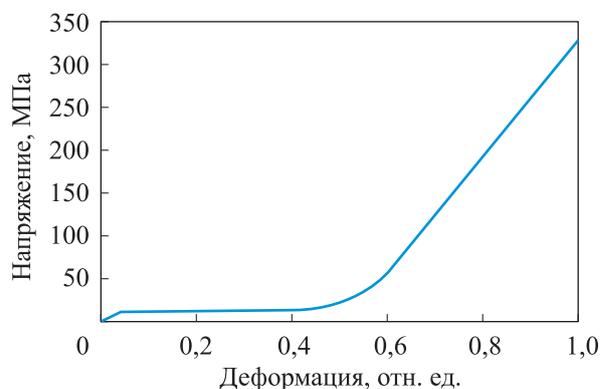


Рис. 6. Диаграмма деформирования пенопласта ПС-1 на сжатие

Таблица 2

Результаты анализа НДС корпуса ОГК и болтового соединения отсеков

Расчетный случай падения	НДС корпуса ОГК		НДС болтового соединения	
	$\sigma_{\text{экв}}$, МПа	$\epsilon_{\text{пл}}$, %	$\sigma_{\text{экв}}$, МПа	$\epsilon_{\text{пл}}$, %
боковой поверхностью	400/270	12/0	910/400	4/0
днищем под углом 45°	460/230	Более 21/0	830/600	10/0
крышкой под углом 45°	460/200	Более 21/0	600/550	0/0
поверхностью днища	390/200	10/0	600/580	0/0
поверхностью крышки	440/200	16/0	600/580	0/0

Примечание. В числителе дроби указаны значения для автономного ОГК, в знаменателе — для ОГК в составе ТК.

расчетных случаях элементы корпуса и болтового соединения работают в упругой области деформирования. Раскрытия стыков не происходит. Спрогнозировано сохранение прочности и герметичности элементов сборки.

Таким образом, ТК выполняет все предъявляемые к нему требования и оказывает существенное влияние на снижение нагруженности ОГК. Результаты анализа НДС ОГК и болтового соединения отсеков при ее автономном падении и в составе ТК приведены в табл. 2, где $\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентное напряжение. Наблюдается существенное снижение нагруженности ОГК при падении в составе ТК.

Выводы

1. Проведено численное моделирование аварийного автономного падения ОГК с технологических высот $h = 2$ и 9 м. Анализ НДС ОГК

показал, что самыми опасными случаями являются падение на днище и крышку под углом 45°.

2. Спрогнозировано сохранение прочности и герметичности ОГК при автономном падении с высот $h = 2$ и 9 м в составе ТК. При автономном падении ОГК с девятиметровой высоты это условие не выполняется.

3. Для верификации расчетной модели ОГК и уменьшения трудоемкости экспериментального подтверждения ее прочности и герметичности проведено одно натурное испытание автономного падения ОГК с двухметровой высоты.

4. Расчетная модель верифицирована и может быть применена при численном моделировании динамического поведения и НДС ОГК при интенсивных ударных нагружениях без проведения натуральных испытаний.

Литература

- [1] Герасимов С.И., Одзерихо И.А., Герасимова Р.В. и др. Безопасные условия проведения исследований с баллистическими установками. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 9, с. 105–114, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-9-105-114>
- [2] Ильяев Р.И., Михайлова А.Л., Жерноклетов М.В. ред. *Экспериментальные методы и средства в физике экстремальных состояний вещества*. Москва, РАН, 2021. 484 с.
- [3] Жерноклетов М.В., Глушак Б.Л. ред. и др. *Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках*. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005. 428 с.
- [4] Степанов А.С., Музыря А.К., Кузьмин В.П. и др. *Взрывозащитная камера*. Патент РФ 2450243. Заявл. 03.08.2012, опубл. 10.05.2012.
- [5] Долбищев С.Ф., Бондарев А.В., Гришин А.В. и др. *Взрывозащитная камера*. Патент РФ 2700749. Заявл., 31.08.2018, опубл. 19.09.2019.
- [6] Степанов А.С., Мальцев А.П., Беляков В.И., Гордеев И.Н. *Соединение крышки с корпусом камеры*. Патент РФ 181529. Заявл. 19.03.2018, опубл. 17.07.2018.
- [7] Исследование динамических свойств материалов. vniitf.ru: веб-сайт. URL: <http://vniitf.ru/article/issledovanie-dinamicheskikh-svoystv-materialov> (дата обращения: 30.08.2023).

- [8] Тулаева Н.Н., Липатников М.А., Минаев И.В. и др. Прочность гермокапсулы при аварийном падении с высоты 9 метров. *Забабакхинские научные чтения. Сб. мат. XV Межд. конф.* Снежинск, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2021, с. 212.
- [9] Hutton D.V. *Fundamentals of finite element analysis*. New York, McGraw Hill, 2004. 494 p.
- [10] Норри Д., де Фриз Ж. *Введение в метод конечных элементов*, Москва, Мир, 1981. 304 с.
- [11] Баженов В.Г. Математическое моделирование и методы идентификации деформационных и прочностных характеристик материалов. *Физическая механика*, 2007, т. 10, № 5, с. 91–105.
- [12] Баженов В.Г., Нагорных Е.В., Осетров Д.Л. и др. Численно-экспериментальный анализ процессов растяжения-кручения цилиндрических образцов из стали 09Г2С при больших деформациях до разрушения. *Учен. зап. казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки*, 2018, т. 160, № 3, с. 495–507.
- [13] Баландин В.В., Баландин В.В., Брагов А.М. и др. Высокоскоростное деформирование и разрушение стали 09Г2С. *Известия РАН. МТТ*, 2014, № 6, с. 78–85.
- [14] Гохфельд Д.А., Гецов Л.Б., Кононов К.М. и др. *Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении*. Екатеринбург, Изд-во УрО РАН, 1996. 408 с.
- [15] Сорокин В.Г., ред. *Марочник сталей и сплавов*. Москва, Машиностроение, 1989. 640 с.

References

- [1] Gerasimov S.I., Odzerikho I.A., Gerasimova R.V. et al. Safe conditions for conducting tests using ballistic facilities. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2019, no. 9, pp. 105–114, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-9-105-114> (in Russ.).
- [2] Ilkaev R.I., Mikhaylova A.L., Zhernokletov M.V. eds. *Ekspirentalnye metody i sredstva v fizike ekstremalnykh sostoyaniy veshchestva* [Experimental methods and means in physics of extreme states of matter]. Moscow, RAN Publ., 2021. 484 p. (In Russ.).
- [3] Zhernokletov M.V., Glushak B.L. red. et al. *Metody issledovaniya svoystv materialov pri intensivnykh dinamicheskikh nagruzkakh* [Methods of research of properties of materials under intensive dynamic loads]. Sarov, RFYaTs-VNIIEF Publ., 2005. 428 p. (In Russ.).
- [4] Stepanov A.S., Muzyrya A.K., Kuzmin V.P. et al. *Vzryvozashchitnaya kamera* [Explosion-proof chamber]. Patent RU 2450243. Appl. 03.08.2012, publ. 10.05.2012. (In Russ.).
- [5] Dolbishchev S.F., Bondarev A.V., Grishin A.V. et al. *Vzryvozashchitnaya kamera* [Explosion-proof chamber]. Patent RU 2700749. Appl., 31.08.2018, publ. 19.09.2019. (In Russ.).
- [6] Stepanov A.S., Maltsev A.P., Belyakov V.I., Gordeev I.N. *Soedinenie kryshki s korpusom kamery* [Cover connection with camera housing]. Patent RU 181529. Appl. 19.03.2018, publ. 17.07.2018. (In Russ.).
- [7] Issledovanie dinamicheskikh svoystv materialov [Study of dynamic properties of materials]. *vniitf.ru: website*. URL: <http://vniitf.ru/article/issledovanie-dinamicheskikh-svoystv-materialov> (accessed: 30.08.2023). (In Russ.).
- [8] Tulaeva N.N., Lipatnikov M.A., Minaev I.V. et al. [Pressure capsule strength at accidental falling from 9 meters height]. *Zababakhinskie nauchnye chteniya. Sb. mat. XV Mezhd. konf.* [Zababakhin Scientific Talks. Proc. XV Int. Conf.]. Snezhinsk, RFYaTs-VNIIEF, 2021, p. 212. (In Russ.).
- [9] Hutton D.V. *Fundamentals of finite element analysis*. New York, McGraw Hill, 2004. 494 p.
- [10] Norrie D.H., de Vries G. *An introduction to finite element analysis*. Academic Press, 1978. 301 p. (Russ. ed.: *Vvedenie v metod konechnykh elementov*. Moscow, Mir Publ., 1981. 304 p.)
- [11] Bazhenov V.G. Mathematical modeling and methods of determining strain and strength characteristics of materials. *Fizicheskaya mekhanika*, 2007, vol. 10, no. 5, pp. 91–105. (In Russ.).
- [12] Bazhenov V.G., Nagornyykh E.V., Osetrov D.L. et al. Numerical and experimental analysis of tension-torsion processes in cylindrical samples made of 09G2S steel under large deformations before destruction. *Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Fiz.-matem. nauki* [Proceedings of Kazan University. Physics and Mathematics Series], 2018, vol. 160, no. 3, pp. 495–507. (In Russ.).

- [13] Balandin V.V., Balandin V.V., Bragov A.M. et al. High-rate deformation and fracture of steel 09G2S. *Izvestiya RAN. MTT*, 2014, no. 6, pp. 78–85. (In Russ.). (Eng. version: *Mech. Solids*, 2014, vol. 49, no. 6, pp. 666–672, doi: <https://doi.org/10.3103/S0025654414060089>)
- [14] Gokhfeld D.A., Getsov L.B., Kononov K.M. et al. *Mekhanicheskie svoystva staley i splavov pri nestatsionarnom nagruzhenii* [Mechanical properties of steels and alloys under unsteady loading]. Ekaterinburg, Izd-vo UrO RAN Publ., 1996. 408 p. (In Russ.).
- [15] Sorokin V.G., ed. *Marochnik staley i splavov* [Steel and alloys grade book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 640 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 16.10.2023

Информация об авторах

ТУЛАЕВА Наталья Николаевна — аспирант кафедры «Техническая механика». Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); младший научный сотрудник. ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (456770, Снежинск, Челябинская область, Российская Федерация, ул. Васильева, д. 13, e-mail: m.v.nikulshin@vniitf.ru).

ЛИПАТНИКОВ Максим Александрович — начальник группы. ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (456770, Снежинск, Челябинская область, Российская Федерация, ул. Васильева, д. 13, e-mail: m.a.lipatnikov@vniitf.ru).

МИНАЕВ Илья Валерьевич — начальник лаборатории. ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (456770, Снежинск, Челябинская область, Российская Федерация, ул. Васильева, д. 13, e-mail: i.v.minaev@vniitf.ru).

ТАБАТЧИКОВ Артем Александрович — начальник группы. ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (456770, Снежинск, Челябинская область, Российская Федерация, ул. Васильева, д. 13, e-mail: a.a.tabatchikov@vniitf.ru).

Information about the authors

TULAEVA Natalia Nikolaevna — Postgraduate, Department Technical Mechanics. South Ural State University (National Research University); Junior Research Scientist. Federal State Unitary Enterprise Russian Federal Nuclear Center — Zhabakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (456770, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russian Federation, Vasilieva St., Bldg. 13, e-mail: m.v.nikulshin@vniitf.ru).

LIPATNIKOV Maksim Aleksandrovich — Head of the Group. All-Russian Scientific Research Institute of Technical Physics (VNIITF) (456770, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russian Federation, Vasilieva St., Bldg. 13, e-mail: m.a.lipatnikov@vniitf.ru).

MINAEV Ilya Valerievich — Head of Laboratory. All-Russian Scientific Research Institute Of Technical Physics (VNIITF) (456770, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russian Federation, Vasilieva street St., Bldg. 13, e-mail: i.v.minaev@vniitf.ru).

TABATCHIKOV Artem Aleksandrovich — Head of the Group. All-Russian Scientific Research Institute Of Technical Physics (VNIITF) (456770, Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russian Federation, Vasilieva St., Bldg. 13, e-mail: a.a.tabatchikov@vniitf.ru).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Тулаева Н.Н., Липатников М.А., Минаев И.В., Табатчиков А.А. Прочность и герметичность гермокапсулы при аварийном падении с различных высот. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 5, с. 3–10.

Please cite this article in English as:

Tulaeva N.N., Lipatnikov M.A., Minaev I.V., Tabatchikov A.A. Hermetically sealed capsule strength and integrity under the emergency fall from different heights. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 5, pp. 3–10.