

УДК 629.78

DOI 10.18698/0536-1044-2016-11-99-107

Методические аспекты унификации цельнометаллических шар-баллонов высокого давления для сжатых и сжиженных газов

В.А. Тарасов¹, А.В. Бараев², Р.В. Боярская¹

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

² ФГУП «НПО «Техномаш», 127018, Москва, Российская Федерация, 3-й пр-д Марьиной Рощи, д. 40

Methodical Aspects of Standardization of All-Metal High-Pressure Spherical Tanks for Compressed and Liquefied Gases

V.A. Tarasov¹, A.V. Baraev², R.V. Boyarskaya¹

¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

² Federal State Unitary Enterprise Scientific and Production Association Tekhnomash, 127018, Moscow, Russian Federation, 3rd Maryinoy Roshchi proyezd, Bldg. 40



e-mail: tarasov_va@mail.ru, brv152@mail.ru



Актуальным направлением сокращения затрат в области производства ракетно-космической техники является унификация шар-баллонов высокого давления для сжатых и сжиженных газов. В связи с этим предложена методическая основа поиска рациональных значений параметрического ряда унифицированных шар-баллонов. Научно обоснован критерий оптимизации значений параметрического ряда и показана эффективность применения предложенного критерия. Установлена взаимосвязь точек группирования значений энергии серийно выпускаемых шар-баллонов и интервалов энергий для применения унифицированных изделий. Показано, что предложенный подход позволяет сократить номенклатуру шар-баллонов в 2 раза. Установлена область энергий сжатых газов 6...10 МДж, где унификация позволяет в 4 раза увеличить программу выпуска изделий. Все это повышает технико-экономические показатели производства и мотивирует работы по совершенствованию технологии изготовления шар-баллонов.

Ключевые слова: сжатые и сжиженные газы, унификация шар-баллонов высокого давления, критерий оптимизации значений параметрического ряда, сокращение номенклатуры шар-баллонов.



The standardization of high-pressure spherical tanks for compressed and liquefied gases is a promising cost reduction solution in the rocket and space industry. This article proposes a methodical basis to the search for the rational values of the parametric series of the standardized spherical tanks. The optimization criterion for the parametric series values is scientifically substantiated, and the efficiency of the proposed criterion is shown. The authors determine the interrelation of the grouping points of the energy values for mass-produced spherical tanks and energy intervals for the application of the standardized products. It is shown that using the proposed approach, it is possible to reduce the nomenclature of the spherical tanks by half. The area of energy of the compressed gases of

60–100 MJ is identified where the standardization allows increasing product manufacturing fourfold. All this increases the production performance indicators and stimulates work to improve manufacturing technology for spherical tanks.

Keywords: compressed and liquefied gases, unification of a high-pressure spherical tanks, optimization criterion for parametric series values, reduction of the spherical tank nomenclature.

Шар-баллоны высокого давления (ШБВД) для сжатых и сжиженных газов являются важнейшими компонентами ракет-носителей, на борту которых одновременно могут использоваться несколько ШБВД. Их изготавливают мелкими сериями из сплавов металлов и композитов [1–5] с большими затратами [6].

Для сокращения затрат в области производства ракетно-космической техники (РКТ) важное значение имеет процесс унификации ШБВД [7–10]. О государственном значении унификации компонентов РКТ упоминается в Указе Президента РФ В.В. Путина № 874 «О системе управления ракетно-космической отраслью» от 2 декабря 2013 г. Для ракетно-космической отрасли интересны изыскания во всех направлениях унификации:

- в настоящее время в конструкции ракеты-носителя «Ангара» заложен модульный принцип, позволяющий использовать ракетные блоки и независимо, и в связке;

- ШБВД являются важными и интересными объектами унификации. Их много, их конструкции отличаются друг от друга, что связано с традициями конструкторских коллективов, и в случае унификации можно существенно укрупнить производственные программы.

В работе [1] проведен статистический анализ выпускаемых в мире ШБВД, который выявил существование областей группирования ШБВД по энергии, что показывает возможность унификации. Но значения энергий параметрического ряда ШБВД должны определять интервалы рационального использования унифицированных ШБВД.

Цель работы — поиск рациональных значений параметрического ряда унифицированных ШБВД.

Методическая основа поиска рациональных значений параметрического ряда унифицированных ШБВД. В качестве комплексного параметра, характеризующего работоспособность ШБВД, выберем запасенную сжатым газом энергию, значение которой для процесса

изотермического заполнения оценим соотношением

$$E = pV \ln \frac{p}{p_0},$$

где p — рабочее давление сжатого газа в ШБВД; V — объем ШБВД; p_0 — нормальное атмосферное давление.

Номенклатуре ШБВД, выпускаемой в отрасли, соответствует статистический ряд значений E , для которого исчерпывающей характеристикой является гистограмма распределения частоты $\bar{n} = n_j / n_\Sigma$ использования j -го разряда шириной H_E на оси энергии E (n_j — число ШБВД, соответствующих по энергии j -му разряду; n_Σ — общее число ШБВД в статистическом ряде).

Суть унификации состоит в увеличении программы выпуска ШБВД за счет объединения соседних разрядов и использования изделий одной модели в области объединенных разрядов, что наглядно представлено на рис. 1. Здесь вертикальными пунктирными линиями обозначены области j -х разрядов с количеством n_{ij} элементов (i — индекс области объединенных разрядов (унифицированных ШБВД)); $E_i^{\text{наим}}$, $E_i^{\text{наиб}}$ — границы i -й области унификации на шкале энергии E ; ΔE_i — интервал унификации, в который попадает n_{iy} изделий,

$$n_{iy} = \sum_j n_{ij}.$$

В этом случае каждое изделие со своим значением параметра E в области унификации будет заменено унифицированным ШБВД.

Запасенная в унифицированном ШБВД энергия должна превышать энергию моделей, соответствующих объединяемым разрядам, т. е. значения параметрического ряда должны соответствовать правым границам областей унификации. Отсюда масса унифицированных ШБВД будет всегда больше массы изделий объединяемых разрядов. При этом размер области унификации ΔE_i следует выбрать так, чтобы экономически это было выгодно, а эффективность унификации была бы максимальной.

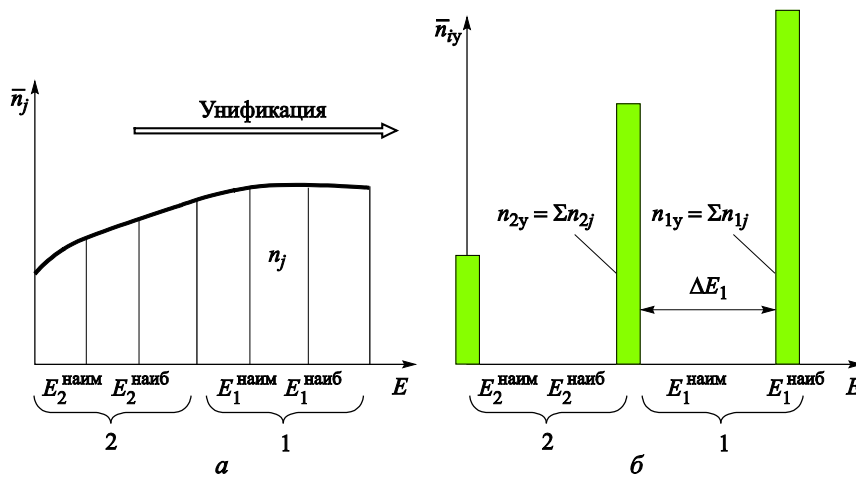


Рис. 1. Принципиальная схема увеличения программы выпуска изделий на базе их унификации: 1 — первая область унификации; 2 — вторая область унификации

При разработке методики обоснования параметрического ряда унифицированных ШБВД будем рассматривать одну область унификации. Поэтому опустим индекс i в математических выражениях, среднее количество элементов в объединяемых разрядах обозначим как n^* .

Размер (ширина) области унификации ΔE должен быть результатом процедуры оптимизации, где в качестве целевой функции примем показатель эффективности выбора интервала энергии для унифицированных ШБВД. Этот показатель сконструируем на основе накопленного десятилетиями опыта проектирования производственных предприятий [11] и выведения на орбиту космических аппаратов, представив его в следующем виде:

$$\mathcal{E}^0 = \mathcal{E}_1^0 - \mathcal{E}_2^0, \tag{1}$$

где \mathcal{E}_1^0 — параметр, учитывающий зависимость производственных затрат от программы выпуска и массы изделий, которые описаны в работе [11]; \mathcal{E}_2^0 — параметр, учитывающий потери средств при выведении на орбиту утяжеленных унифицированных изделий.

В выражении (1):

$$\mathcal{E}_1^0 = 1 - \left(\frac{n^*}{n_y} \right)^\beta \left(\frac{M^{\text{наиб}}}{M^*} \right)^\gamma;$$

$$\mathcal{E}_2^0 = \frac{\chi C_v^0}{C^*} \frac{M^*}{M^{\text{наиб}}} \frac{\Delta M}{M^*},$$

где n^* , M^* и C^* — усредненные по области унификации значения соответственно программы выпуска, массы и себестоимости неунифицированных ШБВД j -х разрядов;

$n_y, M^{\text{наиб}}$ — программа выпуска и масса унифицированных ШБВД после объединения разрядов; $\beta = 0,625$ и $\gamma = 0,667$ — значения показателей в эмпирических законах, описанных в работе [11]; C_v^0 — стоимость выведения на орбиту 1 кг массы полезного груза; ΔM — значение массы, соответствующее отклонению M^* от правой границы $M^{\text{наиб}}$. Параметр \mathcal{E}_1^0 может иметь максимум, что изображено на рис. 2.

Стоимость выведения на орбиту 1 кг массы полезного груза C_v^0 , которую традиционно оценивают как стоимость 1 кг золота, будем считать известной и включающей в себя удельные стоимости изготовления $C_{и}^0$ и пусковые затраты $C_{п}^0$. Кроме того, примем, что доля пусковых затрат в стоимости выведения при унификации является неизменной. Коэффициент пропорциональности χ учитывает связь с производственными затратами и стоимостью выведения на орбиту $C_{и}^0 = \chi C_{в}^0$.

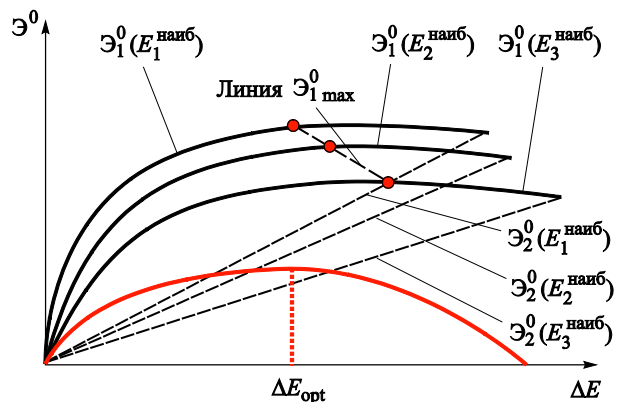


Рис. 2. Структура показателя эффективности выбора интервала энергии для унифицированных ШБВД при $E_j^{\text{наиб}} = \text{const}$

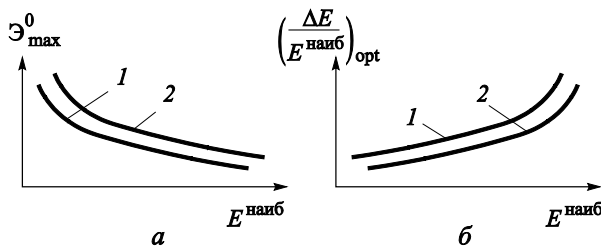


Рис. 3. Максимальный показатель эффективности выбора интервала энергии (а) и оптимальный относительный интервал энергии унифицированных ШБВД (б) как функции параметра $E_{\text{наиб}}$:
1, 2 — линии ШБВД различного типа (цельнометаллические, металлокомпозитные и т. д.)

Показатель эффективности выбора интервала энергии имеет два аргумента — энергию $E_{\text{наиб}}$ и область унификации ΔE . В координатах «Показатель эффективности — интервал ΔE » при постоянной энергии $E_{\text{наиб}}$ целевая функция имеет максимум (см. рис. 2), который и определяет оптимальную область унификации $\Delta E_{\text{опт}}$.

Таким образом, анализ выражения (1) позволяет найти две важные производные функции процесса унификации:

- максимальный показатель эффективности выбора интервала энергии как функцию параметра $E_{\text{наиб}}$ (рис. 3, а):

$$\mathcal{E}_{\text{max}}^0 = f_1(E_{\text{наиб}});$$

- оптимальную область унификации (оптимальный относительный интервал) энергии как функцию параметра $E_{\text{наиб}}$ (рис. 3, б):

$$\left(\frac{\Delta E}{E_{\text{наиб}}}\right)_{\text{опт}} = f_2(E_{\text{наиб}}).$$

Если найдено значение $E_{i\text{наиб}}$ параметрического ряда унифицированных ШБВД (см. рис. 3, б), то следующим значением будет $E_{i\text{наим}} = E_{i-1\text{наиб}} = E_{i\text{наиб}} - \Delta E_{\text{опт}}$. Повторяя эту процедуру многократно, определим все значения искомого параметрического ряда. В этом суть

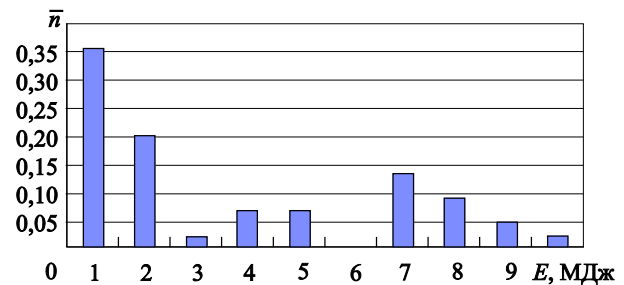


Рис. 4. Распределение частоты использования запасенной в ШБВД энергии на отечественном и зарубежном рынках по шкале запасенной энергии

предложенной методики поиска параметров унифицированных ШБВД.

Статистический анализ производства ШБВД на ведущих отечественных и зарубежных предприятиях. Основу статистического анализа составляет опыт производства ШБВД на ведущих отечественных и зарубежных предприятиях: РКК «Энергия», ФГУП «НИИМаш», АО «УНИИМК», ЗАО «Сафит Композит Инжиниринг», АО «Красмаш», Luxfer, SCI, Dunetek, EDO, Lincoln Composites, EADS Astrium и др. Проведенный анализ позволил построить диаграмму частоты использования запасенной в ШБВД энергии (рис. 4).

Частоту использования типоразмеров ШБВД можно охарактеризовать графиками, представленными на рис. 5.

Обработка статистических данных показала, что между массой ШБВД и энергией E существует зависимость (рис. 6), которая в первом приближении имеет линейный характер:

$$\frac{M}{E} \approx \frac{M}{pV} \sim \frac{K_z \rho_m}{\sigma_v} = \text{const},$$

где M — масса ШБВД, $M = 4\pi r_m R^2 \delta$ (ρ_m — плотность материала ШБВД; R — радиус ШБВД; δ — толщина стенки ШБВД); p — давление в ШБВД; V — объем ШБВД, $V = (4\pi/3)R^3$;

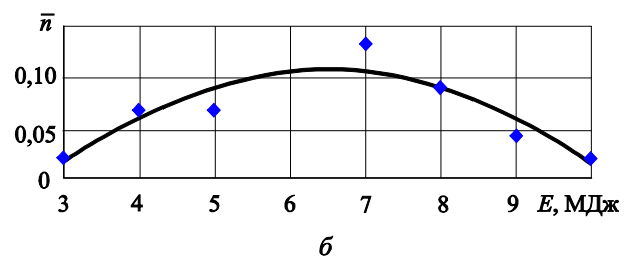
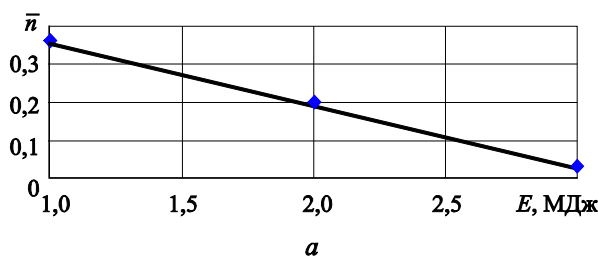


Рис. 5. Распределение частоты использования запасенной в ШБВД энергии в диапазонах $E < 3$ МДж (а) и $3 \leq E \leq 10$ МДж (б):
— — аппроксимация; ◆ — расчет

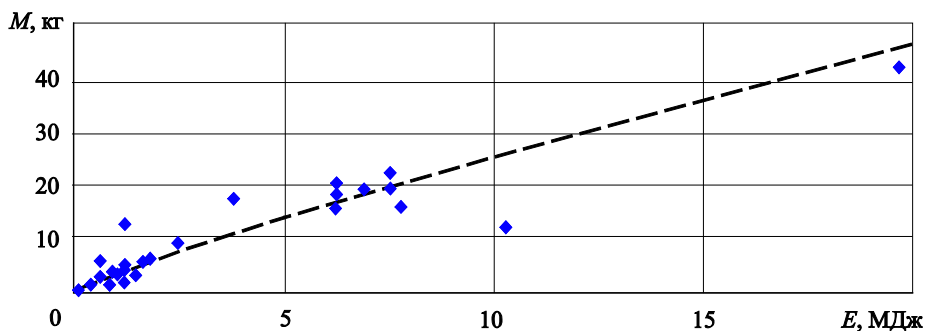


Рис. 6. Зависимость массы ШБВД от запасенной в нем энергии сжатого газа: - - - - - аппроксимация; ◆ — расчет

K_Z — коэффициент запаса прочности изделия;
 σ_B — временное сопротивление материала.

Статистическая обработка данных, представленных на рис. 6, подтверждает возможность использования линейной связи между массой и энергией

$$M = K_M E, \tag{2}$$

где K_M — среднее значение.

В то же время параметр K_M зависит от фирмы-производителя и примененной технологии. Так, у ШБВД производства РКК «Энергия» $K_M = 0,321$, а у шаров-баллонов ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, изготавливаемых на ЮМЗ (г. Днепропетровск), $K_M = 0,378$. ШБВД производства ЦСКБ «Прогресс» являются самыми легкими ($K_M = 0,313$), а шар-баллоны ГРУ им. Макеева, изготовленные на АО «Красмаш», — самыми тяжелыми ($K_M = 0,413$).

Облегчение конструкции ШБВД достигается либо снижением запаса прочности, либо упрочнением материала при его погружении в криогенное топливо.

Теоретический анализ показал, что значение отношения M/E можно уменьшить, используя новые материалы с большим временным сопротивлением σ_B и малой плотностью ρ_m . В эту особую группу входят комбинированные композитные баллоны с металлическим лейнером. Для ШБВД фирмы ЗАО «Сафит Композит Инжиниринг» $K_M = 0,244 \pm 0,113$, что свидетельствует об их преимуществе по массе при одновременном значительном разбросе масс. У ШБВД совместного производства фирм ФГУП «НИИМаш» и ОАО «УНИИКМ» $K_M = 0,340 \pm 0,025$.

Особую область составляют ШБВД с высоким уровнем внутренней энергии (18, 36 и 79 МДж). Доля таких изделий невелика, и в этом случае возможны два решения поставленной задачи:

- ШБВД с большим запасом внутренней энергии можно изготавливать мелкими сериями;
- необходимый запас внутренней энергии можно создавать, используя одновременно 2, 4 и 8 ШБВД с запасом энергии 9...10 МДж.

Имеющийся статистический материал позволяет также построить связь между стоимостью изготовления C и массой ШБВД M в виде

$$C = K_C M, \tag{3}$$

где K_C — коэффициент пропорциональности.

Результаты обоснования энергетического ряда унифицированных ШБВД. Имеющаяся в отрасли база данных достаточна для определения показателя эффективности выбора интервала энергии унифицированных изделий. После преобразований формула (1) примет вид

$$\Theta^0 = 1 - \left(\frac{H_E}{\Delta E} \right)^\beta \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta E}{2E^{\text{наиб}}} \right)^\gamma} - \frac{\chi C_B^0}{2K_C} \frac{\Delta E}{E^{\text{наиб}}},$$

где H_E — ширина разряда на оси энергии E ; $E^{\text{наиб}}$ — правая граница произвольной области унификации.

Результаты, полученные на основе предложенного подхода, приведены на рис. 7. Анализ полученных данных позволяет рекомендовать следующие зависимости для выбора оптимального относительного интервала унификации и оценки максимального значения показателя эффективности (рис. 8):

$$\left(\frac{\Delta E}{E^{\text{наиб}}} \right)_{\text{opt}} = 0,496 - 0,0016E^{\text{наиб}};$$

$$\Theta_{\text{max}}^0 = 0,089 + 0,0041E^{\text{наиб}}.$$

Использование этих зависимостей позволяет построить диаграмму значений энергии пара-

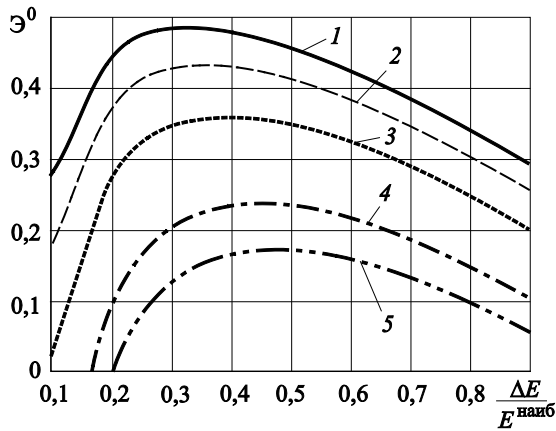


Рис. 7. Зависимость показателя эффективности выбора интервала энергии унифицированных ШБВД от относительного интервала унификации при различном количестве ШБВД: 1 — 10; 2 — 8; 3 — 6; 4 — 4; 5 — 2

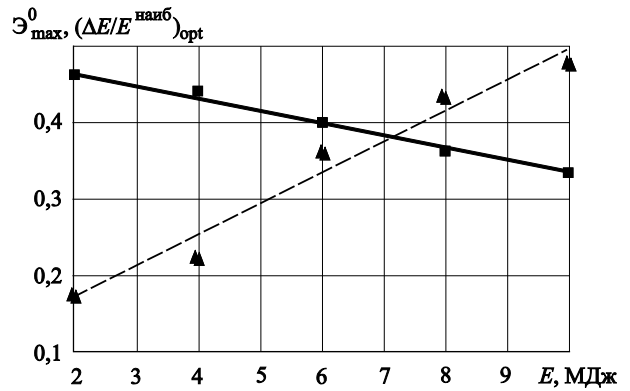


Рис. 8. Зависимость максимального показателя эффективности Ξ_{max}^0 и оптимального относительного интервала унификации $(\Delta E/E^{наиб})_{opt}$ от запасенной энергии: — — аппроксимация Ξ_{max}^0 ; - - - - аппроксимация $(\Delta E/E^{наиб})_{opt}$; ▲ — расчет Ξ_{max}^0 ; ■ — расчет $(\Delta E/E^{наиб})_{opt}$

метрического ряда унифицированных ШБВД и сравнить их со статистически обработанными данными для серийно выпускаемых ШБВД (рис. 9).

Сравнение данных, приведенных на рис. 9, показывает, что при проведении унификации количество используемых разрядов уменьшается в 2 раза, а номенклатура серийно выпускаемых изделий может быть уменьшена на порядок, что связано с отсутствием влияния индивидуальных склонностей конструктора и желания добиться наилучших показателей.

Полученные результаты позволяют также оценить эффективность использования в конструкторско-технологической практике энергий параметрического ряда унифицированных

ШБВД. Для этого введем показатель интенсивности использования рекомендуемых значений энергии унифицированных ШБВД:

$$\bar{\Xi}_i^0 = \frac{\Xi_i^0 \sum_j n_{ij}}{\sum_i \Xi_i^0 \sum_j n_{ij}}$$

где Ξ_i^0 — показатель эффективности выбора разряда энергии унифицированных ШБ; i — индекс разрядов энергий, рекомендуемых предлагаемой методикой; j — индекс разрядов энергий серийно выпускаемых ШБВД, попавших в i -й разряд энергий унифицированных ШБВД; n_{ij} — частота использования серийно выпускаемых ШБВД.

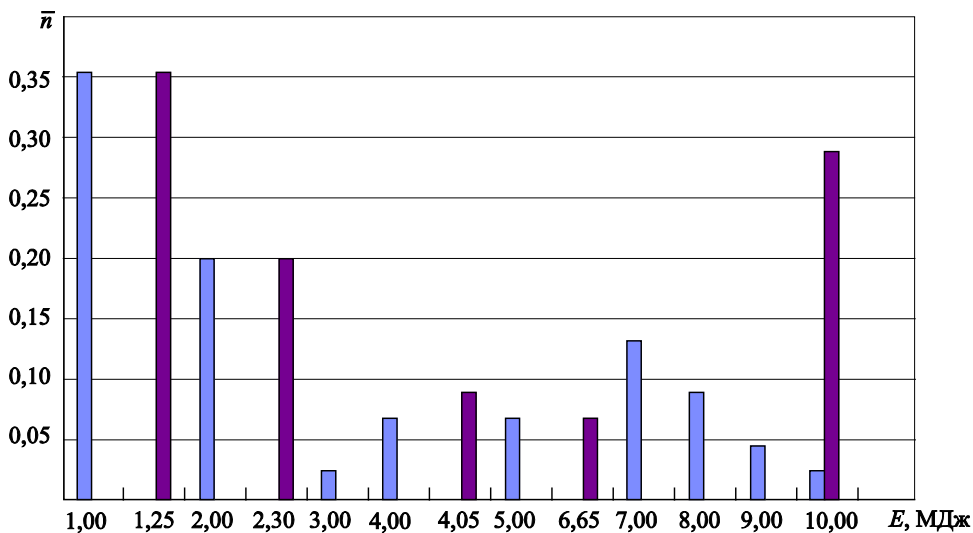


Рис. 9. Сравнение частоты использования энергии унифицированных (■) и неунифицированных (■) ШБВД

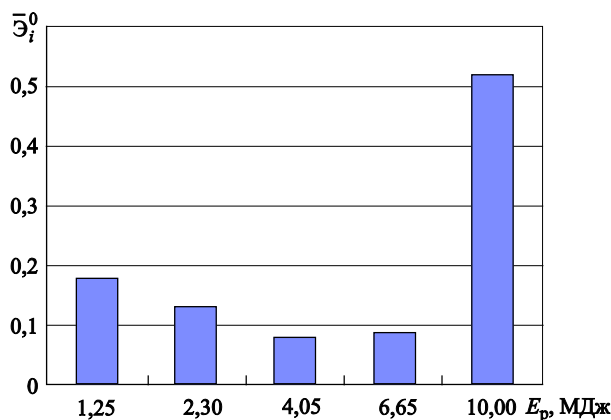


Рис. 10. Распределение показателя интенсивности использования рекомендуемого ряда энергий унифицированных ШБВД на шкале рекомендуемой энергии

Результаты расчета показателя интенсивности использования рекомендуемых значений энергии унифицированных ШБВД приведены на рис. 10.

Выводы

1. Научно обоснован критерий оптимизации значений параметрического ряда унифицированных ШБВД. Показана эффективность применения предложенного критерия.

2. Установлена корреляция положения точек группирования энергии серийно выпускаемых ШБВД и рекомендуемых энергий унифицированных ШБВД.

3. На базе методики технико-экономического обоснования параметрического ряда унифицированных ШБВД для сжатых и сжиженных газов в ракетной технике и космических аппаратах:

- показано, что можно обеспечить сокращение номенклатуры ШБВД в 2 раза и более, что повышает технико-экономические показатели производства и мотивирует работы по совершенствованию технологии изготовления ШБВД;

- установлены зависимости между рекомендуемыми энергиями унифицированных ШБВД, шириной интервалов унификации ШБВД и максимальным значением показателя эффективности выбора интервала унификации;

- сформулировано понятие показателя интенсивности использования в конструкторско-технологической практике рекомендуемых энергий унифицированных ШБВД. Показано, что в интервале энергий 1...6 МДж показатель интенсивности использования изменяется умеренно в области значений $0,13 \pm 0,04$, а в диапазоне 6...10 МДж увеличивается в 4 раза. Поэтому создание специализированных производств для изготовления ШБВД в этом интервале энергий особенно перспективно.

Литература

- [1] Тарасов В.А., Бараев А.В., Филимонов А.С., Боярская Р.В. Конструкторско-технологические основы унификации параметров цельнометаллических баллонов высокого давления в ракетно-космическом машиностроении. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2014, № 5 (98), с. 70–84.
- [2] Буланов И.М., Смыслов В.И., Комков М.А., Кузнецов В.М. *Сосуды давления из композиционных материалов в конструкциях ЛА*. Москва, ЦНИИ информации, 1985. 308 с.
- [3] Benedic F., Leard J.-P., Lefloch C. *Helium High Pressure Tanks at EADS Space Transportation New Technology with Thermoplastic Liner*, 2005. URL: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA445482> (дата обращения 01 мая 2016).
- [4] Ryan Gehm. *Scorpius Space Launch propels all-composite tanks forward*. *SAE International*, 2008. URL: <http://articles.sae.org/2866/> (дата обращения 01 мая 2016).
- [5] Monaghan M. *NASA picks Boeing for composite cryogenic propellant tank tests*. *SAE International*, 2011. URL: <http://articles.sae.org/10275/> (дата обращения 01 мая 2016).
- [6] Тарасов В.А., Кашуба Л.А. *Теоретические основы технологии ракетостроения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 351 с.
- [7] Медведев А.А. Унификация как средство обеспечения низкой удельной стоимости и повышения надежности выведения полезной нагрузки ракетами-носителями. *В кн. Актуальные проблемы российской космонавтики: Труды XXXIII Академических чтений по космонавтике*, Москва, Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2009, с. 252–253.

- [8] ГОСТ 23945.0–80. *Унификация изделий. Основные положения*. Москва, Изд-во стандартов, 1991. 8 с.
- [9] Р 50.1.028–2001. *Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования*. Москва, Госстандарт России, 2001. 78 с.
- [10] Петров А.В. *Моделирование организационно-технологической среды создания ракетно-космической техники*. Москва, Машиностроение, 1999. 318 с.
- [11] Тихомиров В.А. *Основы проектирования самолетостроительных заводов и цехов*. Москва, Машиностроение, 1975. 472 с.

References

- [1] Tarasov V.A., Baraev A.V., Filimonov A.S., Boiarskaia R.V. *Konstruktorско-tekhnologicheskie osnovy unifikatsii parametrov tsel'nometallicheskiikh ballonov vysokogo davleniia v raketno-kosmicheskom mashinostroenii* [Design-Engineering Principles of Standardization of Characteristics of Solid-Metal High-Pressure Tanks in Rocket and Space Machine Building]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering]. 2014, no. 5(98), pp. 70–84.
- [2] Bulanov I.M., Smyslov V.I., Komkov M.A., Kuznetsov V.M. *Sosudy davleniia iz kompozitsionnykh materialov v konstruktssiakh LA* [Pressure vessels made of composite materials in aircraft structure]. Moscow, TsNII informatsii publ., 1985. 308 p.
- [3] Benedic F., Leard J.-P., Lefloch C. Helium High Pressure Tanks at EADS Space Transportation New Technology with Thermoplastic Liner, 2005. Available at: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA445482> (accessed 01 May 2016).
- [4] Ryan Gehm. Scorpius Space Launch propels all-composite tanks forward. *SAE International*, 2008. Available at: <http://articles.sae.org/2866/> (accessed 01 May 2016).
- [5] Monaghan M. NASA picks Boeing for composite cryogenic propellant tank tests. *SAE International*, 2011. Available at: <http://articles.sae.org/10275/> (accessed 01 May 2016).
- [6] Tarasov V.A., Kashuba L.A. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii raketostroeniia* [Theoretical foundations of rocket technology]. Moscow, Bauman Press, 2006. 351 p.
- [7] Medvedev A.A. Unifikatsiia, kak sredstvo obespecheniia nizkoi udel'noi stoimosti i povyshe-niia nadezhnosti vyvedeniia poleznoi nagruzki raketami-nositeliami [Unification, as a means of ensuring a low unit cost and improve the reliability of removing the payload launch vehicles]. *V kn. Aktual'nye problemy rossiiskoi kosmonavtiki: Trudy 33 Akad-emicheskikh chtenii po kosmonavtike*. [In the book Actual problems of Russian Astro-nautics: Proceedings of the 33 Academic readings on cosmonautics]. Moscow, Komissiia RAN po razrabotke nauchnogo naslediiia pionerov osvoeniia kosmicheskogo prostranstva publ., 2009, pp. 252–253.
- [8] GOST 23945.0–80. *Unifikatsiia izdelii. Osnovnye polozeniia* [State Standard 23945.0–80. Unifying products. Fundamentals]. Moscow, Standartinform publ., 1991. 8 p.
- [9] R 50.1.028–2001. *Rekomendatsii po standartizatsii. Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Metodologiiia funktsional'nogo modelirovaniia* [P 50.1.028–2001. Recommendations for standardization. Information technology support for the product lifecycle. Methodology for functional simulation]. Moscow, Standartinform publ., 2001. 78 p.
- [10] Petrov A.V. *Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskoi sredy sozdaniia raketno-kosmicheskoi tekhniki* [Modeling organizational and technological environment of rocket and space technology]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1999. 318 p.
- [11] Tikhomirov V.A. *Osnovy proektirovaniia samoletstroitel'nykh zavodov i tsekhov* [Fundamentals of aircraft manufacturing plants and workshops]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1975. 472 p.

Информация об авторах

ТАРАСОВ Владимир Алексеевич (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: tarasov_va@mail.ru).

БАРАЕВ Алексей Викторович (Москва) — заместитель генерального директора по научной работе. ФГУП «НПО «Техномаш» (127018, Москва, Российская Федерация, 3-й пр-д Марьиной Рощи, д. 40).

БОЯРСКАЯ Раиса Владимировна (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: brv152@mail.ru).

Information about the authors

TARASOV Vladimir Alekseevich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Technology of Rocket-Space Engineering Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: tarasov_va@mail.ru).

BARAEV Aleksey Viktorovich (Moscow) — Deputy General Director for Research. Federal State Unitary Enterprise Scientific and Production Association Tekhnomash (127018, Moscow, Russian Federation, 3rd Maryinoy Roshchi proyezd, Bldg. 40).

BOYARSKAYA Raisa Vladimirovna (Moscow) — Candidate of Science, Associate Professor, Department of Technologies of Mechanical Engineering. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: brv152@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
В.С. Зарубина, Г.Н. Кувыркина, И.В. Станкевича
«**Математические модели**
прикладной механики»

Изложены основы построения и анализа математических моделей механических систем, идейное ядро которых составляют математические модели стержней, пластинок и оболочек, что позволяет строить адекватные математические модели в виде совокупности соотношений, достаточно полно и точно отражающих свойства и поведение сложных конструктивных элементов современного технологического оборудования и машиностроения. Содержание учебного пособия соответствует курсам лекций, читаемых в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов старших курсов, изучающих такие дисциплины, как «Механика деформируемого твердого тела», «Теория упругости и пластичности», «Динамика и прочность машин», «Сопротивление материалов», «Теория оболочек», «Строительная механика конструкций», и аспирантов математических, физических, естественнонаучных кафедр университетов и технических вузов. Может быть полезно научным сотрудникам и инженерам, занятым в области математического моделирования сложных процессов механического деформирования.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru