

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМЫ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА

**А. В. Неговора, И. Р. Ахметьянов, Д. А. Гусев**

*ФГБОУ «Башкирский государственный аграрный университет»  
(г. Уфа, Российская Федерация)*

***Аннотация:** В данной статье описаны варианты совершенствования формы баллонов высокого давления для хранения газомоторного топлива на борту автотракторной техники, рассмотрены примеры моделирования в программном комплексе КОМПАС АРМ-FEM нагрузок в баллонах высокого давления сложной формы.*

***Ключевые слова:** газомоторное топливо; компримированный природный газ; газобаллонное оборудование; баллоны сложной формы; компьютерное моделирование.*

## IMPROVEMENT OF SHAPE OF HIGH-PRESSURE BALLONS FOR STORAGE OF GAS ENGINE FUEL

**A. V. Negovora, I. R. Akhmetyanov, D. A. Gusev**

*Bashkir State Agrarian University  
(Ufa, Russian Federation)*

***Abstract:** This article describes options for improving the shape of high-pressure cylinders for storing gas-engine fuel on board automotive equipment, and considers examples of modeling loads in complex-shaped high-pressure cylinders in the COMPASS APM-FEM software package.*

***Keywords:** gas engine fuel; compressed natural gas; gas cylinder equipment; complex cylinders; computer modeling.*

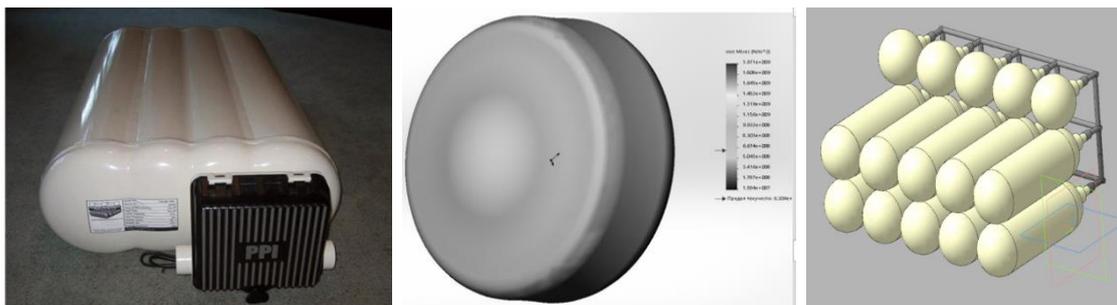
Учитывая современные показатели добычи энергоносителей в России, одним из наиболее перспективных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания становится газомоторное топливо на основе природного газа метана в сжатом (компримированном) состоянии (КПГ). Однако, главной проблемой широкого использования КПГ являются большая масса и размеры запра-

вочных ёмкостей – баллонов, работающих под большим (до 22 Мпа) давлением. Особенно это заметно на примере автобусов малого класса, легковых автомобилях и тракторах, где размещение баллонов вызывает затруднения. Примеры размещения запаса КПГ показаны на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Примеры размещения запаса КПГ в автотракторной технике**

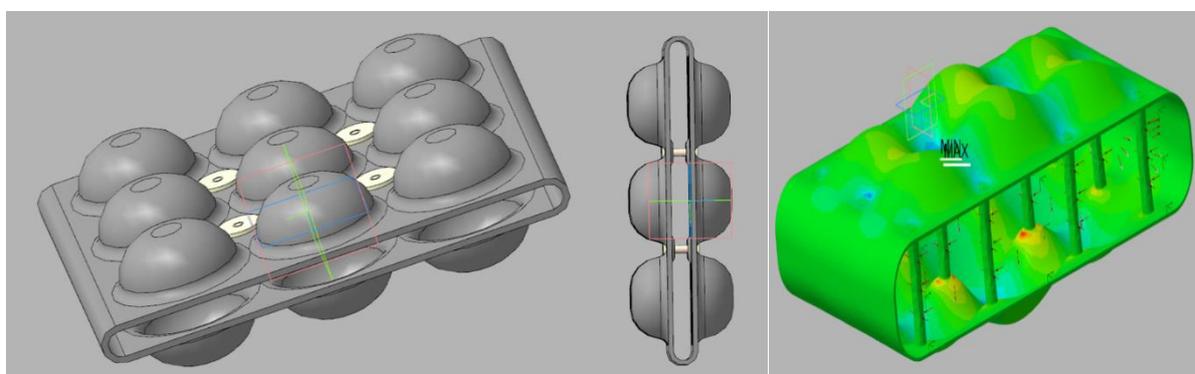
Очевидно, что такое размещение баллонов сокращает размеры полезного пространства и снижает потребительские и технические характеристики техники. Научные коллективы ведут работы в данном направлении, но все известные на сегодняшний день попытки решения проблемы путем применения баллонов сложной формы: наборных цилиндрических (PPI, USA) и дисковидных (рисунок 2), не получили широкого распространения из-за недостаточной эффективности. Например, учёные Волжского политехнического института предложили баллон для метана дисковидной формы [1, 2]. PPI предлагает решить проблему применением модульной конструкции, алюминиевый сплав позволяет существенно снизить вес кассеты в сборе, однако при таком конструктиве затруднительно создание топливных ёмкостей более сложных форм. Дисковидный баллон выгоден для установки в нишу для запасного колеса, однако масса такого баллона объёмом 30 литров, приблизительно равно 35...40 кг [3], что существенно нагружает багажный отсек.



**Рисунок 2 – Наборные баллоны фирмы PPI (USA), «диско-видный» баллон, массив из баллонов традиционных форм, повторяющая форму топливного бака легкового автомобиля**

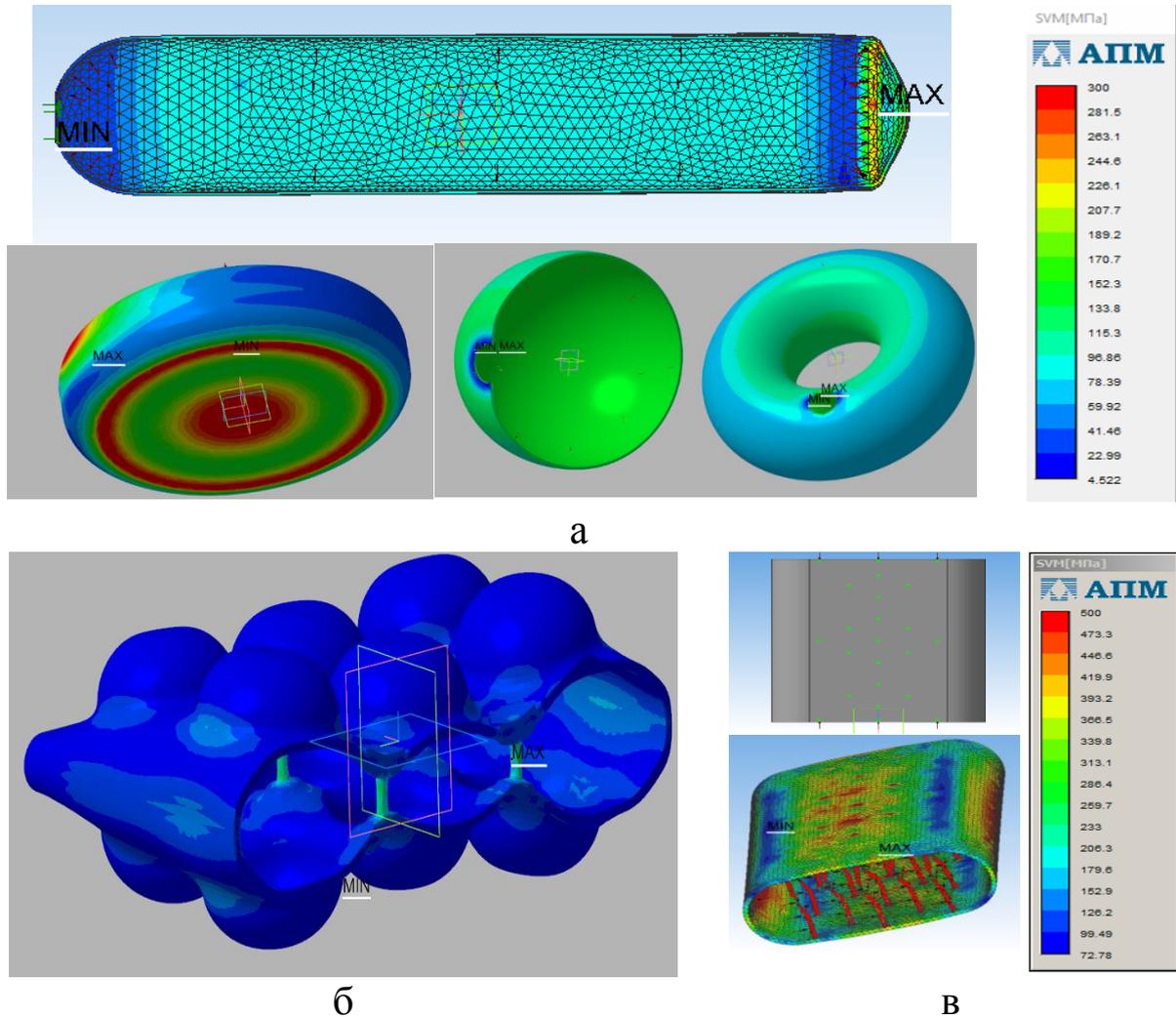
Одним из вариантов решения указанной проблемы является применение баллонов сложной формы, повторяющих конфигурацию свободных полостей в кузове автомобиля. Для изучения возможности производства таких баллонов необходимо провести предварительные расчетные исследования на основе спроектированных 3D-моделей.

Для моделирования нагрузок использовалась прикладная библиотека программы КОМПАС V17 АРМ FEM [4]. Расчёт в данной программе производится методом конечных элементов, толщина стенки, действующее давление для разных элементов выбраны идентичными, а материал – монолитным. Авторами предложен баллон сложной формы с распределёнными связями путем объемного армирования. На плоских поверхностях сосуда имеются выпуклости, повторяющие деформационные смещения наружной поверхности, показанные на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Модель баллона с распределёнными связями с учётом деформаций**

Распределение напряжений и деформаций в оболочке баллонов различных форм показано на рисунке 4. Классические баллоны (а) смоделированы полностью, баллоны сложной формы (б, в) представлены в виде кольцевых элементов.



**Рисунок 4: а – распределение напряжений в баллонах классической формы; б – распределение напряжений в баллоне с распределёнными связями с учётом деформаций; в – распределение напряжений в гладком баллоне с распределёнными связями**

Сравнение результатов моделирования баллонов показало значительное увеличение напряжений, возникающих в элементах баллонов сложной формы и неравномерности их распределения, что видно из рисунка 4. Выявлено, что наиболее нагруженными оказались связующие элементы и область их закрепления на поверхности баллона. Однако формирование стенок баллона с учё-

том рассчитанных деформаций позволяет существенно понизить предельные значения напряжений и неравномерность их распределения.

Проведённая расчетная корректировка формы наружной стенки баллонов позволила значительно снизить напряжения в конечных элементах баллона, что позволяет использовать данные результаты при производстве топливных ёмкостей сложной формы, рассчитанных на высокое давление.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елпатьевский А. Н. Васильев В. В. Прочность цилиндрических оболочек из армированных материалов. М. : Машиностроение, 1972. 168 с.
2. Образцов И. Ф., Васильев В. В., Бунаков В. А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. М. : Машиностроение, 1977. 144 с.
3. Изготовление металлокомпозитных баллонов / С. П. Семенищев, В. П. Глухов, П. П. Мерзляков, О. В. Килина, В. К. Попов // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 3 (33). С. 19.
4. Неговора А. В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей : учебно-практическое пособие. Уфа : Башдизель, 2006. 150 с.
5. Application of modern software products for research of the process of thermal preparation of autotractor equipment / D. A. Gusev, A. R. Valiev, V. G. Urmanov, A. B. Kim // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. № 16. С. 82-86.
6. Optimal Design – Theory and Applications to Materials and Structures / V. V. Vasiliev, Z. Gurdal. Lancaster : Technomic, 1999. 320 p.
7. Vasiliev V. V., Morozov E. V. Mechanics and Analysis of Composite Materials. Amsterdam : Elsevier, 2001. 412 p.
8. Неметаллические конструкционные материалы. Энциклопедия Машиностроения. Т. 2-4 / Под ред. А. А. Кулькова, В. В. Васильева. М. : Машиностроение, 2005. 464 с.

## REFERENCES

1. Elpat'evskiy A. N., Vasiliev V.V. Prochnost' tsilindricheskikh obolochek iz armirovannykh materialov [Strength of cylindrical shells from reinforced materials]. Moscow, Mashinostroenie, 1972, 168 p.
2. Obratsov I. F., Vasiliev V. V., Bunakov V. A. Optimal'noe armirovanie obolochek vrashcheniia iz kompozitsionnykh materialov [Optimal reinforcement of shells of rotation from composite materials]. Moscow, Mechanical Engineering, 1977, 144 p.
3. Semenishchev S. P., Glukhov V. P., Merzlyakov P. P., Kilina O. V., Popov V. K. Izgotovlenie metallokompozitnykh ballonov [Manufacturing of

metal-composite balloons]. *Transport on alternative fuel*, 2013, no. 3 (33), p. 19.

4. Negovora A. V. Toplivnaia apparatura avtotraktornykh dizelei [Fuel equipment of autotractor diesel engines]. Ufa, Bashdizel, 2006, 150 p.

5. Gusev D. A. Valiev A. R., Urmanov V. G., Kim A. B. Application of modern software products for research of the process of thermal preparation of autotractor equipment. *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2019, no. 16, pp. 82-86.

6. Optimal Design – Theory and Applications to Materials and Structures. Ed. V. V. Vasiliev, Z. Gurdal. Lancaster, Technomic, 1999, 320 p.

7. Vasiliev V. V., Morozov E. V. Mechanics and Analysis of Composite Materials. Amsterdam, Elsevier, 2001, 412 p.

8. Nemetallicheskie konstruktsionnye materialy. Entsiklopediia Mashinostroeniia [Non-metallic materials of construction. Encyclopedia of Mechanical Engineering]. Vol. 2-4. Ed. A. A. Kulkova, V. V. Vasilyeva. Moscow, Mashinostroenie, 2005, 464 p.

***Об авторах:***

**Неговора Андрей Владимирович**, профессор кафедры «Автомобили и машинно-тракторные комплексы» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), доктор технических наук, профессор, negovora@bsau.ru.

**Ахметьянов Ильшат Расимович**, заведующий кафедрой механики и конструирования машин ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), кандидат технических наук, доцент, ahmetir@mail.ru.

**Гусев Дмитрий Александрович**, доцент кафедры механики и конструирования машин ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), кандидат технических наук, доцент, d-a-gusev@yandex.ru.

***About the authors:***

**Andrey V. Negovora**, professor of the Department «Automobiles and Machine-Tractor Complexes», Bashkir State Agrarian University (450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, st. Fiftieth anniversary of October, 34), D.Sc. (Engineering), professor, negovora@bsau.ru.

**Ilshat R. Akhmetyanov**, head of the department of Automobiles and Machine-Tractor Complexes, Bashkir State Agrarian University (450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, st. Fiftieth anniversary of October, 34), Cand.Sc. (Engineering), associate professor, ahmetir@mail.ru.

**Dmitry A. Gusev**, associate professor of the Department «Automobiles and Machine-Tractor Complexes», Bashkir State Agrarian University (450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, st. Fiftieth anniversary of October, 34), Cand.Sc. (Engineering), associate professor, d-a-gusev@yandex.ru.