

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ

*Ахметьянов И.Р., Гусев Д.А., Ибрагимов Р.Р.*

*Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа*

**Ключевые слова:** газовый баллон, резонанс, частота собственных колебаний, частотный анализ, модальный анализ, автотракторная техника.

**Аннотация.** В статье рассматриваются резонансные явления силовой структуры газовых баллонов, возникающие под действием вибраций от силовой установки и дорожного полотна. Для определения резонансных свойств была построена трёхмерная твердотельная модель баллона, заданы точки крепления и нагрузки и проведено численное исследование в программе APM FEM. По результатам расчёта предложен метод снижения вероятности возникновения резонансных явлений путём изменения расположения точек крепления газовых баллонов. Расчёт, проведённый для каждого из вариантов расположения, крепления выявил зависимость частоты собственных колебаний закреплённого баллона от расположения точек крепления его к остову автомобиля. В результате было определено оптимальное расположение точек крепления баллонов, обусловившее максимальную частоту собственных колебаний закреплённого баллона.

## INVESTIGATION OF NATURAL VIBRATION FREQUENCIES OF GAS CYLINDERS

*Akhmetyanov I.R., Gusev D.A., Ibragimov R.R.*

*Bashkir State Agrarian University, Ufa*

**Keywords:** gas cylinder, resonance, natural frequency, gas equipment, frequency analysis, modal analysis, automotive equipment.

**Abstract.** The article deals with the resonant phenomena of the power structure of gas cylinders that occur under the influence of vibrations from the power plant and the roadway. To determine the resonant properties, a three-dimensional solid-state model of the balloon was constructed, the attachment points and loads were set, and a numerical study was performed in the APM FEM program. Based on the results of the calculation, a method is proposed to reduce the probability of occurrence of resonant phenomena by changing the location of the attachment points of gas cylinders. The calculation carried out for each of the mounting options revealed the dependence of the natural vibration frequency of the fixed cylinder on the location of its attachment points to the car frame. As a result, the optimal location of the attachment points of the cylinders was determined, which determined the maximum frequency of natural vibrations of the fixed cylinder.

Баллоны для хранения газомоторного топлива подвержены большим нагрузкам от внутреннего давления газа и воздействия вибраций от силовой установки и ходовой части, передающимся на баллон через систему крепления, причём абсолютное значение вибрационных нагрузок пренебрежимо мало по сравнению с нагрузками от давления газа. Однако, эти вибрационные нагрузки могут вызвать резонансные явления, что приводит к возрастанию резкому амплитуды колебаний стенок баллона. Важным параметром является определение частот собственных колебаний элементов автотракторной техники. Конструкция считается удовлетворительной с точки зрения вибрационной

прочности, если основные гармоники не попадают в диапазон частот возмущающих внешних воздействий. В ином случае производится оптимизация конструкции таким образом, чтобы исключить этот эффект [1].

Некоторые двигатели, например шести- и десятицилиндровые V-образные двигатели с углом развала  $90^\circ$ , имеют неравномерное чередование рабочих ходов, в этом случае, частота действия реактивного момента вдвое меньше. Частота этих вибраций лежит в диапазоне от 40 до 500 Гц и зависит от частоты вращения коленчатого вала ДВС [2].

В случае попадания баллона в резонанс, существенно увеличивается деформация силовой структуры баллона, что приводит к появлению усталостных повреждений. Наибольшую опасность представляет основная частота резонанса, а гармоники в данной работе не рассматриваются ввиду малой амплитуды. При конструировании баллонов необходимо, чтобы собственные частоты колебаний газовых баллонов были ниже, чем частота вибрационных воздействий [3,4].

Исследования резонансных свойств приводились с помощью программ ANSYS R21 и APM FEM. По чертежам наиболее распространённых стальных баллонов для сжатого природного газа 1 типа (Диаметр 219 мм, длина 1660 мм), выполнена трёхмерная твердотельная модель [5] учитывающая расположение креплений баллона к остову автомобиля, показанная на рисунке 1.

Варианты расположения точек крепления баллона показаны на рисунке 2.

В процессе исследования частотных свойств, были рассмотрены две формы деформаций: радиальная деформация с сохранением продольной оси баллона и поперечный изгиб баллона, без изменения сечения [2]. На рисунке 3 показаны формы деформаций.

При помощи программного обеспечения APM FEM были определены частотные свойства баллонов. Частотный анализ показал, что собственная частота колебаний баллона (рис. 2,а) составляет 470 Гц. Это значение попадает в диапазон частот воздействия от реактивного момента ДВС, что может вызвать резонансные явления в баллоне. Для предотвращения резонансных явлений, необходимо повысить частоту собственных колебаний закреплённого баллона.

Одним из решений, наиболее применимых в условиях автотранспортных предприятий является предложенное авторами изменение расположения точек крепления баллона (рис. 2). Результаты компьютерного моделирования в различных вариантах расположения крепления представлены на диаграмме (рис. 4).

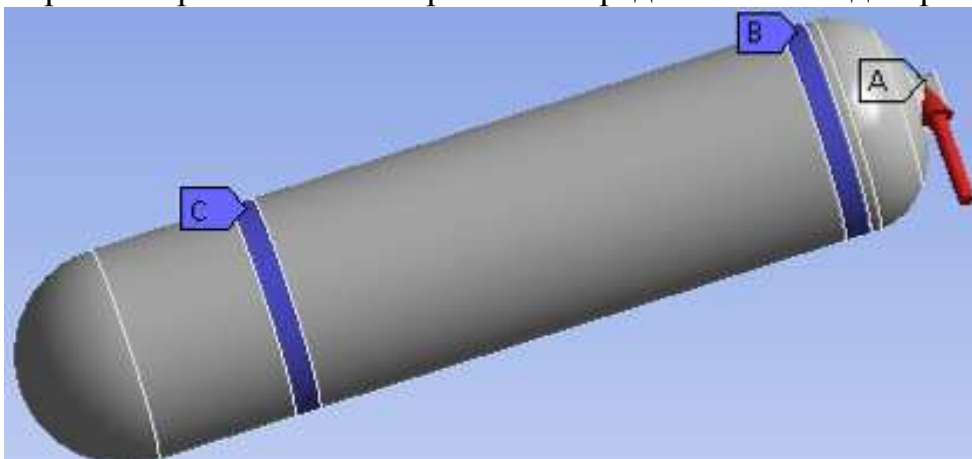


Рис. 1. Трёхмерная модель баллона высокого давления

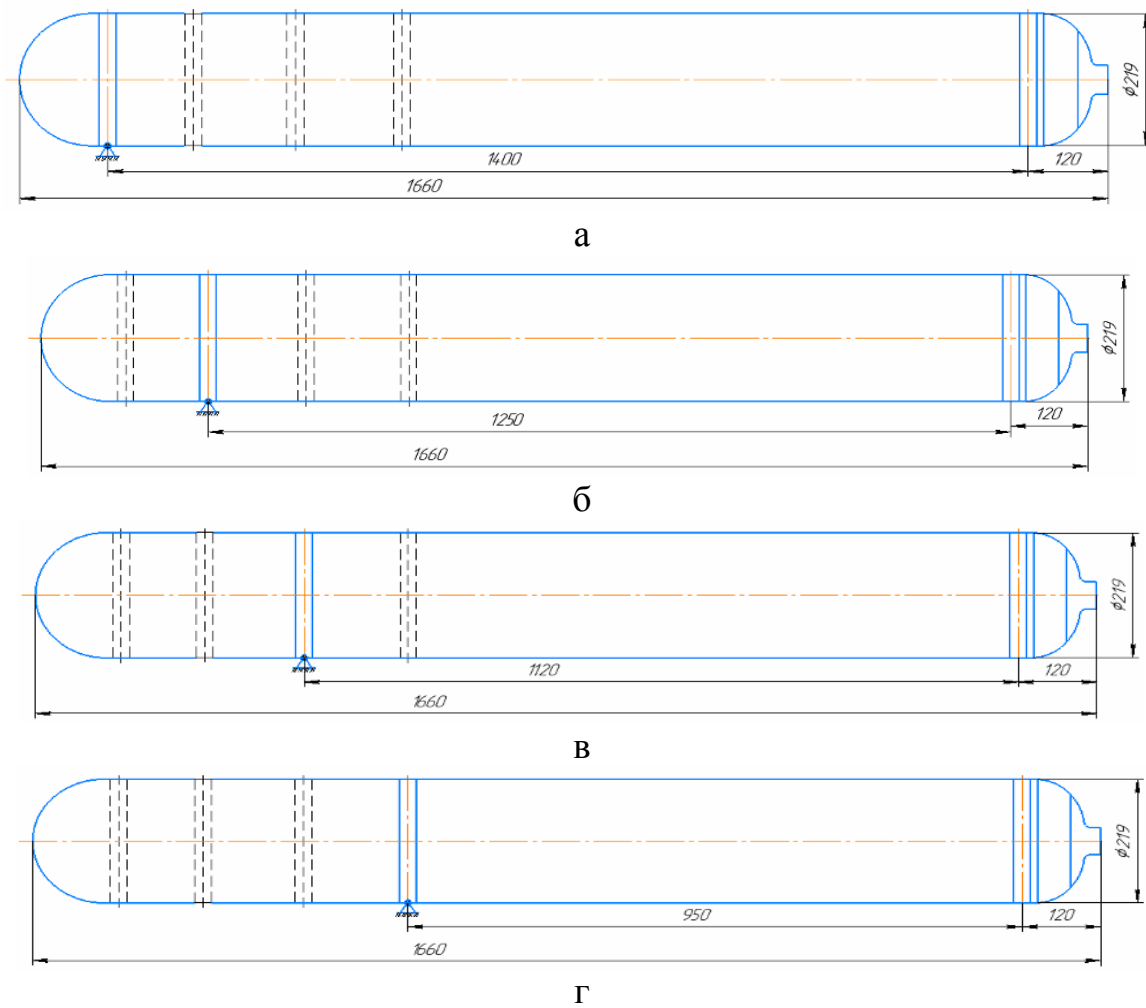
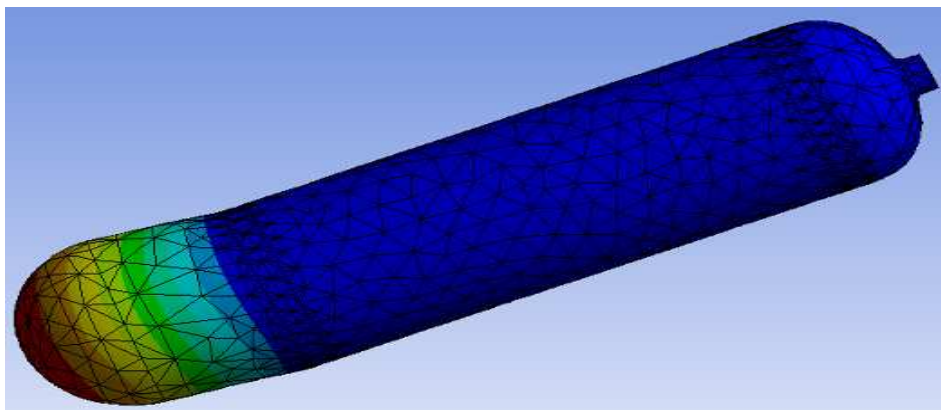
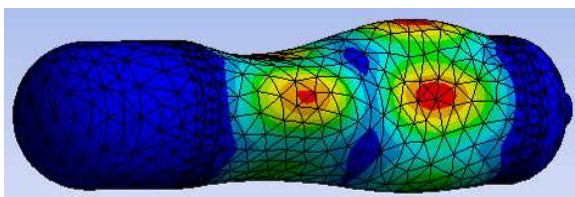


Рис. 2. Варианты расположения точек крепления баллона



а



б

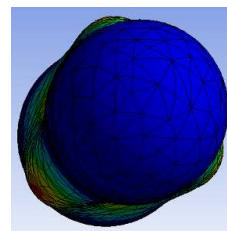


Рис. 3. Виды деформаций баллонов: а) радиальная деформация с сохранением продольной оси баллона; б) поперечный изгиб баллона, без изменения сечения

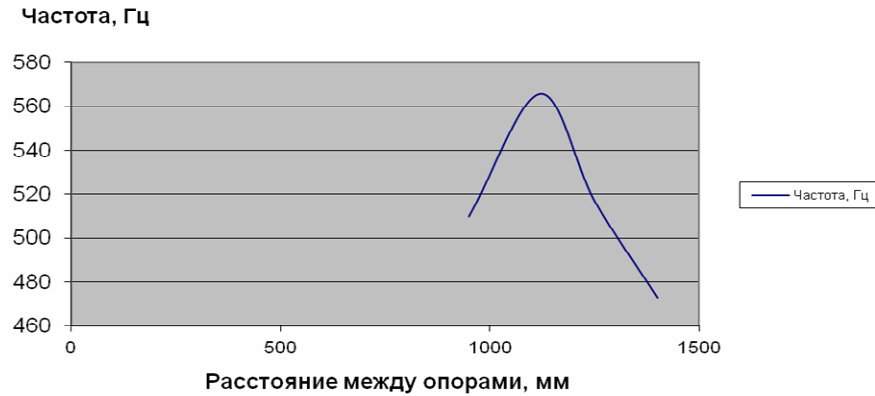


Рис. 4. График зависимости резонансной частоты закреплённого баллона от расположения заднего крепления

Произведённый численный эксперимент показал, что при расположении задней опоры на расстоянии 1120 мм от передней, обеспечивает максимальную частоту собственных колебаний закреплённого баллона, равную 566 Гц. При дальнейшем смещении опоры, резонансная частота стала повышаться. Результатом проведённой работы является способ оптимизации крепления баллонов, который позволяющий вывести частоту собственных колебаний баллона из диапазона частот, в котором возможны опасные резонансные явления, вызывающие усталостные повреждения силовой структуры баллонов.

#### Список литературы

1. Изготовление металлокомпозитных баллонов / С.П. Семенищев В.П. Глухов, П.П. Мерзляков, О.В. Килина В.К. Попов // Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе». 2013. №3(33). С. 19.
2. Infographics and their application in the educational process / L. Tarkhova, S. Tarkhov, M. Nafikov, I. Akhmetyanov, D. Gusev, R. Akhmarov // International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2020. Vol. 15, № 13. P. 63-80.
3. Неговора А.В. Проектирование газовых баллонов сложной формы, работающих под давлением / И.Р. Ахметьянов, Д.А. Гусев // Чтения академика В.Н. Болтинского. Семинар: сборник статей. 2020. С. 152-159.
4. Vasiliev V.V. Optimal Design – Theory and Applications to Materials and Structures / Editors V.V. Vasiliev, Z. Gurdal. – Lancaster: Technomic, 1999. – 320p.
5. Неговора А.В. Исследование влияния формы на прочностные характеристики композитных баллонов для компримированного природного газа / И.Р. Ахметьянов, Д.А. Гусев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (56). С. 117-124.

#### Сведения об авторах:

*Ахметьянов Ильшат Расимович* – к.т.н., доцент кафедры механики и конструирования машин, Башкирский ГАУ, г.Уфа;

*Гусев Дмитрий Александрович* – к.т.н., доцент кафедры механики и конструирования машин, Башкирский ГАУ, г.Уфа;

*Ибрагимов Радик Ринатович* – к.т.н., доцент кафедры механики и конструирования машин, Башкирский ГАУ, г.Уфа.