



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
F17C 1/06 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022118874, 11.07.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.07.2022

Дата регистрации:  
05.10.2022

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 11.07.2022

(45) Опубликовано: 05.10.2022 Бюл. № 28

Адрес для переписки:  
350063, Краснодарский край, г.Краснодар,  
ул.Октябрьская, 8, пом.63, Коллегия адвокатов  
Краснодарского края "Правовой центр  
"ДЕЛО"

(72) Автор(ы):  
Лукоянов Вадим Александрович (RU),  
Лукоянов Александр Вадимович (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"ДЗЕРЖИНСКОЕ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
"ПЛАСТИК" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2670289 C2, 22.10.2018. US  
20210262617 A1, 26.08.2021. US 20210316494 A1,  
14.10.2021. DE 102019123792 A1, 16.04.2020. CN  
108368968 A, 03.08.2018. WO 2013083662 A2,  
13.06.2013.

## (54) БОЛЬШЕРАЗМЕРНЫЙ БАЛЛОН ДЛЯ КОМПРИМИРОВАННОГО ГАЗООБРАЗНОГО ВОДОРОДА С ПОЛИМЕРНО-КОМПОЗИТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к большеразмерным баллонам с компримированным газообразным водородом и/или водородной смесью с содержанием более 2% водорода по объему в сочетании с сухим природным газом, используемым в качестве топлива в наземной транспортной технике. Полезная модель может найти применение в составе конструкций топливных систем хранения, устанавливаемых на автомобильные транспортные средства большой грузоподъемности или установленных в раме, такой как связка или прицеп. Технический результат полезной модели: расширение арсенала технических средств баллонов высокого давления с полимерно-композитной оболочкой, где баллон обладает большими размерами и может использоваться для хранения компримированного газообразного водорода и/или водородной смеси с содержанием более 2% водорода по объему в сочетании с сухим природным газом. Кроме того,

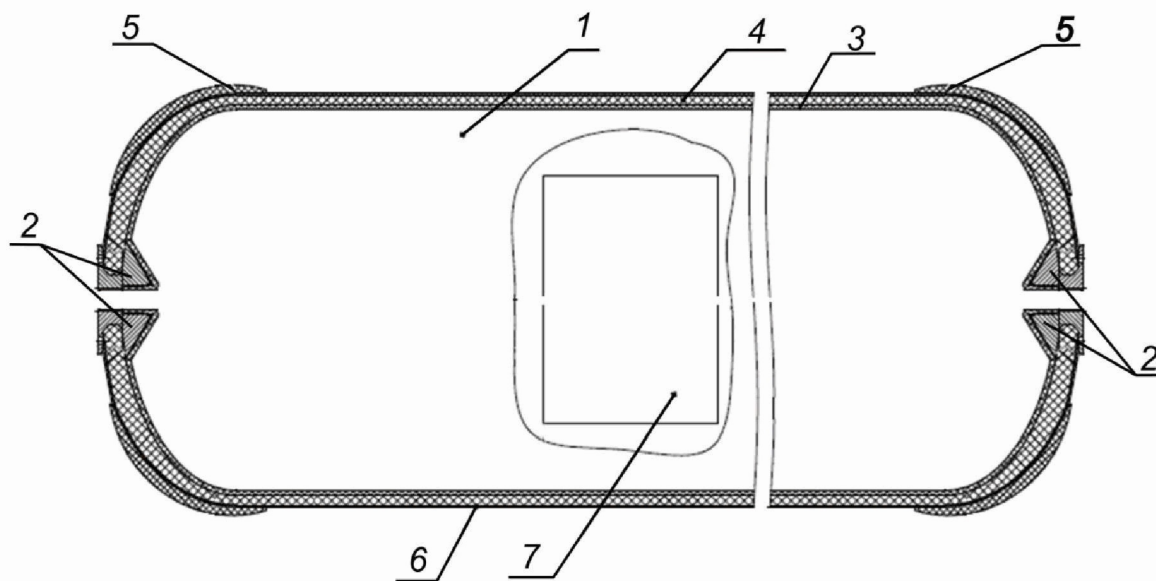
баллон согласно полезной модели эффективен в качестве транспортного бака с водородным топливом. Большеразмерный баллон для компримированного газообразного водорода имеет внутреннюю тонкостенную оболочку, которая изготовлена выдувным формованием в виде термопластичного компаунда на базе полиамида, а силовая оболочка изготовлена из двух слоев:

внутренний силовой слой оболочки изготовлен из углепластика на основе углеродного волокна марки T700SC-24k с пределом прочности волокна 4,3 ГПа, модулем упругости 230 ГПа и полимерного эпоксидного связующего, причем спиральные слои с углами наклона относительно осевого направления баллона усилены слоями с окружным расположением волокон с углом наклона 88° относительно осевого направления баллона;

внешний силовой слой оболочки изготовлен из стеклопластика на основе стеклоровинга марки

17M SE1200 2400 TEX и полимерного эпоксидного связующего, со схемой армирования, при которой: спиральный виток выполнен под углом намотки  $15^\circ$  к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $88^\circ$  к горизонтальной оси баллона;

схема армирования силовой оболочки выполнена так, что периферийный слой армирующего волокна (кольцевой слой и спиральный слой с большим углом) и аксиальный слой волокна (спиральный слой с малым углом) намотаны последовательно.



Фиг. 1

RU 213938 U1

RU 213938 U1

Полезная модель относится к большеразмерным баллонам с компримированным газообразным водородом и/или водородной смесью с содержанием более 2% водорода по объему в сочетании с сухим природным газом, используемым в качестве топлива в наземной транспортной технике. Полезная модель может найти применение в составе конструкций топливных систем хранения, устанавливаемых на автомобильные транспортные средства большой грузоподъемности или установленных в раме, такой как связка или прицеп.

Из уровня техники известны баллоны давления, предназначенные для транспортировки, хранения и использования газообразных и жидких продуктов. На современном этапе развития техники они, как правило, состоят из внутренней герметизирующей оболочки (лейнера) из металлических, неметаллических или композиционных материалов, и наружной силовой оболочки из армированных композитных материалов и/или пластмасс [Патенты: CN110748785; CN210004138; CN210004139; EP2418412; EP2581638; EP3608580; EP3614034; JP2020016289; JP2020026817; RU2175088; RU22340214; US5757918; US2016084437; WO2018210606; WO2020026811.RU 2673927, RU 180975, RU 2327077, RU 2333417, RU 46834, RU 62205, RU 69610, RU 2175088, RU 2234021, US 08727174, EP 2581638, US 20160084437, EP 2418412, RU 2670289, RU 2673927].

Указанные в патентах аналоги имеют общий недостаток: они неприемлемы для задачи, решаемой настоящим устройством, так как вышеуказанные патенты описывают баллоны типов КППГ-3, КППГ-4 для хранения компримированного природного газа (КППГ), а не компримированного газообразного водорода.

На практике технология хранения компримированного газообразного водорода под давлением в баллонах аналогична технологии хранения компримированного природного газа. По международной классификации такой тип баллона - тип 4.

Наиболее близким аналогом является способ изготовления силовой оболочки баллона типа КППГ-4 (Патент RU2670289, опубл.: 2018.10.22 МПК F17C 1/06), включающий намотку на внутреннюю газонепроницаемую оболочку баллона армирующего углеволокна в виде ленты, предварительно пропитанной эпоксидным связующим, по следующей схеме армирования:

кольцевой виток под углом намотки  $87,81^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $14,2^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $14,1^\circ$  к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $87,72^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $20,0^\circ$  к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $87,76^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $14,4^\circ$  к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $87,79^\circ$  к горизонтальной оси баллона, с последующим формированием защитного слоя силовой оболочки, являющегося неотъемлемой частью силовой оболочки, выполненного путем намотки сформированной из стеклоровинга ленты, предварительно пропитанной упомянутым эпоксидным связующим, по следующей схеме армирования:

спиральный виток под углом намотки  $13,6^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $30,0^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $40,0^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $65,0^\circ$  к горизонтальной оси баллона, спиральный виток под углом намотки  $70,0^\circ$  к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $88,1^\circ$  к горизонтальной оси баллона,

и последующую термообработку силовой углестеклопластиковой оболочки.

В прототипе описано техническое решение по изготовлению силовой оболочки полимерно-композитного газового баллона высокого давления типа КПП-4, предназначенного для хранения на транспортном средстве природного газа как топлива, включающего намотку на внутреннюю газонепроницаемую оболочку баллона армирующего волокна в виде ленты спиральными и кольцевыми витками.

Тип 4 - это конструкция топливной системы хранения водорода и водородной смеси: композитные баллоны с полной обмоткой без металлического лейнера.

Вышеупомянутый в прототипе способ изготовления силовой оболочки полимерно-композитного газового баллона высокого давления типа КПП-4 (Патент РФ № 2670289 МПК F17C 1/06) имеет следующую техническую проблему: - Полимерно-композитная оболочка газового баллона высокого давления типа КПП-4, предназначенного для хранения на транспортном средстве природного газа как топлива, выполняется так, что обеспечивает значительное превышение минимальных расчетных значений разрушающего давления и коэффициентов запаса прочности (примерно в 1,5 раза), что отрицательно сказывается на экономической эффективности производства такого баллона типа КПП-4.

Кроме того, вышеупомянутый прототип имеет проблемы с наружной оболочкой из волокнистого композитного материала со слоями стекловолокна на основе полимерного связующего с составом:

смола марки ARALDITE LY 564 SP,

ангидридный отвердитель марки ARADUR 917,

аминовой ускоритель отверждения марки ACCELERATOR 960,

в части трещиностойкости, что отрицательно сказывается на эффективности развития прочности за счет намотанных слоев углеволокна.

Кроме того, вышеупомянутый прототип выполнен с внутренней герметизирующей тонкостенной оболочкой (менее 5 мм) из марки полиэтилена с плотностью 0,945 г/см<sup>3</sup> при 23°C («лейнер»), что, например, может привести к значительным сложностям при хранении водорода из-за водородопроницаемости материала герметизирующей оболочки толщиной стенки менее 5 мм и недостаточной плотности самого материала.

Еще недостатком конструкции прототипа является малый внутренний объем баллона (80 л).

Технический результат полезной модели: расширение арсенала технических средств баллонов высокого давления с полимерно-композитной оболочкой, где баллон обладает большими размерами и может использоваться для хранения компримированного газообразного водорода и/или водородной смеси с содержанием более 2% водорода по объему в сочетании с сухим природным газом. Кроме того, баллон согласно полезной модели эффективен в качестве транспортного бака с водородным топливом.

Заявленный технический результат достигается за счет того, что заявлен большеразмерный баллон для компримированного газообразного водорода, состоящий из герметичной составной оболочки - лейнера, где внешняя оболочка состоит из слоя, изготовленного спирально-перекрестной намоткой лент комбинированного армированного композиционного материала, со схемой армирования с кольцевыми и спиральными витками под углом намотки к горизонтальной оси баллона, отличающийся тем, что внутренняя тонкостенная оболочка изготовлена выдувным формованием в виде термопластичного компаунда на базе полиамида, а силовая оболочка изготовлена из двух слоев:

внутренний силовой слой оболочки изготовлен из углепластика на основе углеродного

волокна марки T700SC-24k с пределом прочности волокна 4,3 ГПа, модулем упругости 230 ГПа и полимерного эпоксидного связующего, причем спиральные слои с углами наклона относительно осевого направления баллона усилены слоями с окружным расположением волокон с углом наклона 88° относительно осевого направления баллона,

внешний силовой слой оболочки изготовлен из стеклопластика на основе стеклоровинга марки 17M SE1200 2400 TEX и полимерного эпоксидного связующего, со схемой армирования, при которой: спиральный виток выполнен под углом намотки 15° к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки 88° к горизонтальной оси баллона,

схема армирования силовой оболочки выполнена так, что периферийный слой армирующего волокна (кольцевой слой и спиральный слой с большим углом) и аксиальный слой волокна (спиральный слой с малым углом) намотаны последовательно.

Предпочтительно, спиральные слои выполнены с углами наклона от 7 до 79° относительно осевого направления баллона.

Допустимо, что полимерное эпоксидное связующее внутреннего слоя силовой оболочки имеет структуру армирования волокон, при объемной доле волокна 75±5% по весу, с многозонной укладкой с углами наклона к оси баллона.

Допустимо, что полимерное эпоксидное связующее внешнего слоя силовой оболочки имеет структуру армирования стекловолокон при объемной доле стекловолокна 75±5% по весу.

Допустимо, что лента волокон для намотки выполнена из 4 жгутов.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 изображена схема внутреннего устройства баллона согласно полезной модели (вид сбоку в разрезе).

На фиг. 2 изображен эскиз общего вида баллона без одного колпака (вид в объеме и срез части корпуса).

На чертежах 1 - баллон; 2 - закладная втулка с прецизионно обработанной резьбой; 3 - лайнер; 4 - углеволокно с ангидридно-эпоксидным связующим; 5 - защитный колпак (вариант защиты); 6 - стекловолокно с ангидридно-эпоксидным связующим; 7 - этикетка.

Осуществление полезной модели

Большеразмерный баллон 1 для компримированного газообразного водорода, согласно полезной модели, состоит из герметичной составной оболочки - лайнера 3 (см. фиг. 1, фиг. 2), где внешняя оболочка состоит из слоя, изготовленного спирально-перекрестной намоткой лент комбинированного армированного композиционного материала, со схемой армирования с кольцевыми и спиральными витками под углом намотки к горизонтальной оси баллона 1.

Новым является то, что внутренняя тонкостенная оболочка изготовлена выдувным формованием в виде термопластичного компаунда на базе полиамида, а силовая оболочка изготовлена из двух слоев:

внутренний силовой слой 4 оболочки изготовлен из углепластика на основе углеродного волокна марки T700SC-24k с пределом прочности волокна 4,3 ГПа, модулем упругости 230 ГПа и полимерного эпоксидного связующего, причем спиральные слои с углами наклона относительно осевого направления баллона 1 усилены слоями с окружным расположением волокон с углом наклона 88° относительно осевого направления баллона,

внешний силовой слой 6 оболочки изготовлен из стеклопластика на основе стеклоровинга марки 17M SE1200 2400 TEX и полимерного эпоксидного связующего,

со схемой армирования, при которой: спиральный виток выполнен под углом намотки  $15^\circ$  к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $88^\circ$  к горизонтальной оси баллона 1,

5 схема армирования силовой оболочки выполнена так, что периферийный слой армирующего волокна (кольцевой слой и спиральный слой с большим углом) и аксиальный слой волокна (спиральный слой с малым углом) намотаны последовательно.

Силовая оболочка из внутреннего 4 и внешнего 6 слоев служит для обеспечения прочности и жесткости баллона 1.

10 Лейнер 3 представляет собой тонкостенный герметичный термопластичный сосуд давления и служит для хранения  $\text{CGH}_2$  (газообразный водород, который компримируется для хранения и использования в качестве автомобильного топлива) или  $\text{CNG-H}_2$  (смесь водорода и природного газа - смесь природного газа и более двух объемных процентов водорода).

15 Металлические закладные втулки 2 с прецизионно обработанной резьбой служат для возможности заправки баллона  $\text{CGH}_2$  или  $\text{CNG-H}_2$ , предусматривают выход под вентиль.

Закладная втулка 2 рассматривается как часть конструкции и должна соответствовать требованиям к материалам, указанным в ГОСТ ISO 11114-4-, и обеспечивать совместимость с водородом в соответствии с ГОСТ ISO 11114-1-.

20 Для баллонов под водородное топливо наличие закладной втулки 2 общепринято.

По обе стороны баллона на его концах могут быть установлены защитные колпаки 5. На наружной поверхности баллона может быть расположена этикетка 7.

25 За счет того, что спиральные слои усилены слоями с окружным расположением волокон с углом наклона  $88^\circ$  относительно осевого направления баллона, удается достичь оптимальной структуры композитной конструкции, обладающей минимальной массой, а именно: превышения в 2 раза прочности при растяжении в окружном направлении относительно осевого направления, в связи с чем разрывы водородного баллона могут возникать в цилиндрической или куполообразной части баллона (как требуется по ГОСТ Р 55891 и др. для баллонов тип 4).

30 Если угол наклона будет менее  $88^\circ$  относительно осевого направления баллона, то возникают недостатки, связанные с ограничением на прочность стенки композитной оболочки при растяжении в окружном направлении, потребуется увеличение толщины стенки композитной оболочки баллона для обеспечения характерного разрыва водородного баллона.

35 Эти недостатки были выявлены расчетным путем и подтверждены опытным путем при гидравлических испытаниях давлением на разрушение опытных образцов полимерно-композитных баллонов объемом 320 л.

40 А если угол наклона будет более  $88^\circ$  относительно осевого направления баллона, то возникают недостатки, связанные с тем, что при максимальных  $90^\circ$  для намотки цилиндра не обеспечивается шаг винтовой линии укладки арматуры, то есть, происходит просто намотка утолщений на одном месте.

45 Внутренняя тонкостенная оболочка изготовлена выдувным формованием в виде термопластичного компаунда на базе полиамида, поскольку согласно ISO 11114-2 неметаллические материалы должны быть пригодны для предполагаемой эксплуатации. Они подходят, если их совместимость указана как приемлемая или необходимые свойства были подтверждены испытаниями или длительным и безопасным опытом, к удовлетворению компетентного лица. В особых случаях могут использоваться несовместимые материалы, если они соответствующим образом покрыты или защищены.

Таблица 1  
Основные свойства термопластичного компаунда на базе полиамида 6

Технологические и физические свойства	Значение	Единица	Стандарт
Показатель текучести расплава	13 / *	г/10 мин	ISO 1133
Температура	250 / *	°С	-
Нагрузка	2.16 / *	кг	-
Усадка при литье, продольная	1.9 / *	%	ISO 294-4, 2577
Усадка при литье, поперечная	1.8 / *	%	ISO 294-4, 2577
Плотность расплава	869	кг/м <sup>3</sup>	-
Теплопроводность расплава	0.22	Вт/(м К)	-
Удельная теплоемкость расплава	2740	Дж/(кг К)	-

Механические свойства	Значение	Единица	Стандарт
Модуль упругости при растяжении	1750 / 530	МПа	ISO 527
Напряжение в точке текучести	43 / -	МПа	ISO 527
Удлинение в точке текучести	4.2 / -	%	ISO 527
Номинальное удлинение при разрыве	>50 / -	%	ISO 527
Ударная вязкость по Шарпи, +23°С	N / N	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Ударная вязкость по Шарпи, -30°С	N / N	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Ударная вязкость по Шарпи с надрезом, +23°С	80 / N	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Ударная вязкость по Шарпи с надрезом, -30°С	22 / 20	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Прокол - максимальное усилие, +23°С	3300 / -	Н	ISO 6603-2
Энергия прокола, +23°С	48 / -	Дж	ISO 6603-2

Теплофизические свойства	Значение	Единица	Стандарт
Температура изгиба под нагрузкой, 1.80 МПа	55 / *	°С	ISO 75-1/-2
Температура изгиба под нагрузкой, 0.45 МПа	100 / *	°С	ISO 75-1/-2
Температура размягчения по Вика, В	130 / *	°С	ISO 306
Коэффициент линейного теплового расширения, продольный	1 / *	Е-4/°С	ISO 11359-1/-2
Коэффициент линейного теплового расширения, поперечный	1,1 / *	Е-4/°С	ISO 11359-1/-2

Прочие свойства	Значение	Единица	Стандарт
Водопоглощение	7 / *	%	Sim. to ISO 62
Поглощение влаги	2.5 / *	%	Sim. to ISO 62
Плотность	1060 / -	кг/м <sup>3</sup>	ISO 1183

Согласно таблице 1 видно, что полиамид совместим с водородом, что не имеет расхождения с требованиями ISO 11114-2. Так как плотность предполагаемой марки полиамида значительно выше марки полиэтилена, то технический результат, полученный на полимерно-композитных баллонах 320 л с полиэтиленовым лейнером, можно распространить на баллон с полиамидным лейнером на этапе технического решения.

Последовательная намотка силовой оболочки из двух слоев: угле- и стекловолокна обеспечивает высокую прочность композитного материала.

Прочность углеродных волокон - это основная часть прочности композита (см. ниже расчет коэффициента запаса прочности и фактора безопасности), и углеродное волокно поглощает гораздо более высокие напряжения.

Наличие стеклопластиковой оболочки исключает чувствительность углепластиковой оболочки к внешним воздействиям, стеклопластик так же участвует в восприятии силовых нагрузок (доказанная ударостойкость).

Заявленный большеразмерный баллон может быть изготовлен следующим образом.

Технологическая схема производства такого баллона состоит из следующих процессов:

1. Экструзионный выдув (производство полимерного лейнера).

2. Подготовка лейнера для намотки силовой оболочки, в том числе: отрезание литника и взвешивание; термостабилизация, механическая обработка (фрезеровка, нарезание резьбового соединения), активация механически обработанной поверхности плазмой, вклеивание закладных элементов (расходно-заправочной арматуры), сушка клеевого соединения, установка намоточных валов и проверка лейнера на герметичность, обжиг лейнеров.

3. Намотка в два этапа для создания композитной оболочки баллона, включающая подкачку воздуха в лейнер до давления 3,5 бар, намотку на лейнер армирующего углеволокна в виде ленты, предварительно пропитанной эпоксидным связующим, с многозонной укладкой с углами наклона к оси лейнера в предпочтительном диапазоне от 7° до 79°, при этом спиральные слои усиливаются слоями с окружным расположением волокон с углом наклона 88°.

формирование защитного слоя силовой оболочки, являющегося неотъемлемой частью силовой оболочки, выполненного путем намотки ленты, сформированной из стеклоровинга и предварительно пропитанной упомянутым эпоксидным связующим, с многозонной укладкой с углами наклона к оси баллона 15°, при этом спиральные слои усилены слоями с окружным расположением волокон с углом наклона 88°.

4. Приклеивание этикетки.

5. Термообработка: в течение 2,0±0,2 ч при температуре 80±3°C, затем повышают температуру до 95±3°C и выдерживают в течение 3,0±0,2 ч.

6. Обработки баллонов после отверждения (гидравлическое испытание на объемное расширение  $P=1,5 P_{раб}$ , опорожнение и сушка, установка клапанной группы, испытание на герметичность).

7. Испытание гидравлическим давлением на разрушение и другие испытания в составе партии баллонов (проверка температуры размягчения материала лейнера, механические испытания на растяжение лейнера, испытание свойств смолы, испытание на адгезионную прочность покрытия, испытание на кручение закладной горловины, испытание циклическими нагрузками, испытание на герметичность).

8. Упаковка готовых баллонов.

Полимерное эпоксидное связующее (термореактивная полимерная матрица) внутреннего слоя силовой оболочки может иметь структуру армирования углеволокна при объемной доле углеволокна 66±5% (75±5% по весу), с многозонной укладкой.

Полимерное эпоксидное связующее (термореактивная полимерная матрица) внешнего слоя силовой оболочки может иметь структуру армирования стекловолокна при объемной доле стекловолокна 59±5% (75±5% по весу).

При термической полимеризации температура и продолжительность цикла полимеризации полимерной системы должны быть такими, чтобы они не оказывали отрицательного влияния на механические характеристики полимерно-композитной оболочки баллона. Кроме того, должны быть определены допуски на время выдержки и температуру на каждой стадии.

Процесс армирования композитной оболочки внутреннего слоя выполняется так, что периферийный слой армирующего волокна (кольцевой слой и спиральный слой с большим углом) и аксиальный слой волокна (спиральный слой с малым углом) наматывают последовательно, чтобы получить соотношение количества слоев 1:1, а также в определенном соотношении углеродного и стеклянного армирующего волокна, обеспечивающим оптимальные характеристики баллона и необходимую прочность.

При этом номинальные толщины слоев намотки могут быть различными.

Пример намоток показан в таблице 2.

Таблица 2

№ намотки	Значение номинальной толщины слоев намотки (мм)	Вид намотки
1	1,597	кольцевой виток под углом намотки 88° к горизонтальной оси баллона
2	0,830	спиральный виток под углом намотки 75° к горизонтальной оси баллона
3	0,826	спиральный виток под углом намотки 79° к горизонтальной оси баллона
4	1,175	спиральный виток под углом намотки 56° к горизонтальной оси баллона
5	1,050	спиральный виток под углом намотки 10° к горизонтальной оси баллона
6	0,813	спиральный виток под углом намотки 9° к горизонтальной оси баллона
7	0,898	спиральный виток под углом намотки 7° к горизонтальной оси баллона
8	0,888	кольцевой виток под углом намотки 88° к горизонтальной оси баллона
9	1,268	спиральный виток под углом намотки 15° к горизонтальной оси баллона
10	0,557	спиральный виток под углом намотки 10° к горизонтальной оси баллона
11	0,399	кольцевой виток под углом намотки 88° к горизонтальной оси баллона

Из таблицы 1 примера видно, что спиральные слои могут выполняться с углами наклона от 7° до 79° относительно осевого направления баллона, тогда как кольцевой виток всегда выполнен под углом намотки 88° к горизонтальной оси баллона.

Армирование внешнего слоя силовой оболочки выполняют так, что номинальные толщины слоев составляют, мм:

1,151 мм - спиральный виток под углом намотки 15° к горизонтальной оси баллона,  
0,520 мм - кольцевой виток под углом намотки 88° к горизонтальной оси баллона.

Полимерное эпоксидное связующее внешнего слоя силовой оболочки выполняют со структурой армирования стекловолокон, при объемной доле стекловолокна 59±5% (75±5% по весу), с многозонной укладкой.

В качестве эпоксидного связующего может быть использованы ангидридно-эпоксидные системы горячего отверждения марок: LITERSTONE 2130E (эпоксидная смола) и LITERSTONE 2142H (ангидридный отвердитель). Отношение для смешивания связующего по весу 100 (±0,13%) связующего и 106 (±0,13%) отвердителя.

Качественные характеристики используемого эпоксидного связующего, используемого при создании баллона: жизнеспособность при 40°C: 6-8 ч, вязкость при 25°C: прибл. 500 МПа·с, температура отверждения: максимум 100°C, температура стеклования (TG) ±100°C, прочность на сдвиг: минимум 13.8 МПа (в отвержденном виде).

Каждая из упомянутых лент для намотки может быть изготовлена, например, из 4 жгутов. Намотку армирующего угле-стекловолокна в виде ленты осуществляют с натяжением 17+5 Н/жгут, при этом предварительную пропитку армирующего угле-стекловолокна в виде ленты упомянутым связующим осуществляют в ванне с температурой связующего 32-37°C, а отверждение оболочки при последующей термической обработке осуществляют в течение 2,0±0,2 часа при температуре 80±3 °C и в течение 3,0±0,2 ч при температуре 95±3 °C.

Качественные характеристики используемого углеродного волокна марки T700SC-24k представлены в таблице 3.

Таблица 3

Свойства волокна		
Наименование показателей	Значение показателей	
	Минимум	Максимум
Предел прочности на разрыв	4 900 МПа	-
Модуль упругости при растяжении	230 ГПа	240 ГПа
Удлинение при разрыве	1,9 %	-
Плотность	1,76 г/см <sup>3</sup>	1,84 г/см <sup>3</sup>

Линейная плотность		1600 г/1000 м	1650 г/1000 м
Тип и количество замасливателя	50°C	0,8 %	1,6 %
Скручивание		Не крученное	
Размеры картонной бобины		Внутренний диаметр катушки: 76,5 (- 0,20) мм Максимальная длина катушки: 280 мм (- 0,20)	
Максимальный вес катушки		до 8 кг	

Таким способом была изготовлена полимерно-композитная оболочка заявленного  
 10  
 большего размера баллона под заполнение сжиженным газом водородом и/или водородной смесью с содержанием более 2% водорода по объему в  
 сочетании с сухим природным газом. Изготовленный согласно полезной модели баллон  
 имел длину 2103 мм, а по диаметру составлял 517±5 мм.

Конструкция оболочки нового большего размера баллона высокого давления,  
 предназначенного для хранения на транспортном средстве водорода как топлива,  
 15  
 имеет высокие барьерные свойства в отношении диффузии водорода и обеспечивает  
 оптимальные характеристики нового баллона, в частности высокую весовую  
 эффективность (0,3 кг/л) и большой объем (320 л).

Согласно прототипу настоящей полезной модели, в нем указан баллон объемом 80  
 л. Таким образом, заявленное техническое решение позволяет создавать баллон с  
 20  
 большими размерами, нежели прототип, а именно объемом 320 л.

В качестве примера в таблице 4 показаны характеристики полученного баллона  
 объемом 320 л.

Тип изделия	Длина мм	Диаметр, мм	Масса изделия, кг	Эффективность кон- струкционная, кг/л	Общая масса композитной оболочки, кг	Рабочее давление, МПа
Тип 4	2103	517	0,3	0,3	~70	25,0

Требования на сжижение водорода зависят от технологии производства  
 водородного топлива и требований его хранения и доставки, например, производство  
 30  
 водорода на базе технологии ГТОА (гидротермальное окисление алюминия) и ТСКВ  
 (металлогидридный термосорбционный компрессор водорода).

Испытания полимерно-композитного баллона 320 л на газопроницаемость  
 проводились в соответствии с ГОСТ ISO 11439, методика А21. При тестировании  
 использовалась газоаналитическая система «Сенсон-СД-7031-СМ». В ходе испытания  
 35  
 баллона были применены различные методы инженерного анализа при помощи  
 специального программного обеспечения фирмы "Altair Engineering Inc", чтобы  
 обеспечить максимальную устойчивость в любой точке лайнера и композитной  
 оболочки.

В соответствии с ГОСТ ISO 11439 - «Скорость просачивания должна быть менее  
 0,25 мл/ч природного газа на 1 л вместимости баллона».

В ходе испытаний рассматривалась скорость просачивания водорода менее 2 см/ч  
 на 1 л вместимости баллона при рабочем давлении 25,0 МПа, а также высокая весовая  
 эффективность баллона тип 4 (не более 0,3 кг/л).

Результат испытаний показали, что в процессе выдержки 22 суток скорость  
 просачивания природного газа менялась от 0,0024 до 0,0039 мл/ч (0,1-0,16%), что  
 45  
 соответствует норме.

Учитывая то, что испытание на проницаемость для водородного баллона по ГОСТ  
 Р 55891- аналогично испытанию на проницаемость для баллона по ГОСТ ISO 11439-  
 при большей норме «менее 2,00 см<sup>3</sup>/ч на 1 л» (менее 2 мл/ч на 1 л), а также то, что

целевые полиамиды обладают лучшими барьерными свойствами (более высокой плотностью, чем полиэтилен высокой плотности), при создании баллона в качестве материала внутренней тонкостенной оболочки был выбран термопластичного компаунд на базе полиамида.

5 В ходе испытаний рассчитывалось распределение нагрузки в композитной оболочке при рабочем, испытательном и разрушающем давлениях. Используемая математическая модель учитывает изотропность и нелинейность применяемых полимерных композиционных материалов.

10 Так как конструкция силовой оболочки нового баллона комбинированная (углепластик/стеклопластик), то прочность углеродных волокон - это основная часть прочности композита, и углеродное волокно поглощает гораздо более высокие напряжения. Нагрузка на композит ограничена максимальной способностью растяжения в кольцевом направлении более жестких слоев углеродного волокна.

15 Композит в заявленном баллоне имеет чуть более 60% объемного содержания волокон в углепластике и в стеклопластике.

Фактор безопасности (ФБ) при комбинированной намотке рассчитывался по формуле:

$$\text{ФБ} = \text{Запас прочности стеловолокна} / \text{Запас прочности углеволокна} [1]$$

$$\text{ФБ} = 3,50 / 2,25 = 1,42$$

20 Слои из углеродного волокна имеют решающее значение для определения граничных параметров комбинированной обмотки и свойств слоя независимо от содержания углеволокна во всей обмотке.

Деформация углеволокна вычислялась следующим образом:

$$\Delta y = \sigma / E_2 \quad [2]$$

$$\Delta y = 2450 \text{ Н/мм}^2 / 147\,000 \text{ Н/мм}^2 = 1,66.$$

Деформация для стекловолокна:

$$\Delta c = \sigma / E_2 \quad [3]$$

$$\Delta c = 1\,260 \text{ Н/мм}^2 / 43\,800 \text{ Н/мм}^2 = 2,88.$$

Граница прочности (ГП) стекловолокна при гибридной обмотке:

$$\text{ГП} = \Delta C / \Delta y \quad [4]$$

$$\text{ГП} = 2,88 / 1,66 = 1,73.$$

35 Тогда коэффициент запаса прочности стекловолокна (Кс):

$$\text{Кс} = 1,73 \cdot 2,25 = 4,152$$

$$3,89 > 3,50,$$

где 2,25 - нормативный коэффициент запаса прочности углеволокна, 3,50 - нормативный коэффициент запаса прочности стекловолокна.

40 Запас прочности стекловолокна будет всегда больше требуемого нормативами значения «3,50».

Таким образом, напряжения, возникающие в углеволокне, являются определяющими прочность композита в данной силовой оболочке, соответственно требуемый коэффициент запаса прочности (Кзп) принимается не менее 2,25.

45 Минимальное давление на разрыв в баллоне равно 56,25 МПа

$$\text{Кзп} = 2,25 \cdot 25 \text{ МПа} = 56,25 \text{ МПа}.$$

Композит, изготовленный горячим отверждением из углеволокна и стекловолокна, и использованный для изготовления полимерно-композитного баллонов 320 л согласно полезной модели, прошел лабораторное испытание с положительным результатом. А

именно, достигнуто 22,8 МПа для среднего значения предела прочности при межслойном сдвиге образца заподимеризованного композита Углеволокно Т700SC-24к + эпоксидная система Olin 2142H, 2130E. Также, достигнуто 19,4 МПа для среднего значения предела прочности при межслойном сдвиге образца заподимеризованного композита

5 Стеклоровинг 17M SE1200 2400 TEX + эпоксидная система Olin 2142H, 2130E.

Данное испытание аналогично испытанию В.5 ГОСТ Р 55891, поэтому результат был принят на этапе технического решения как для водородного баллона.

10 Циклическое испытание давлением при температуре окружающей среды баллонов КППГ-4 в соответствии с ГОСТ ISO 11439, методика А13, также показало положительный результат.

Испытание проводилось на двух образцах изготовленных полимерно-композитных баллонах вместимостью 320 л.

15 Испытания проводились давлением от 2МПа до 1,25Р от рабочего, в количестве 45000 циклов. Затем баллоны были подвергнуты разрушению путем повышения внутреннего гидравлического давления.

Результаты испытаний и характер разрушения:

Баллон (образец № 0044):

в ходе циклических испытаний подтеков не обнаружено на протяжении 45000 циклов; давление разрушения  $P_{\text{разр.}} = 62,08$  МПа;

20 характер разрушения: по цилиндрической части баллона.

Баллон (образец № 0051):

в ходе циклических испытаний подтеков не обнаружено на протяжении 45000 циклов; давление разрушения  $P_{\text{разр.}} = 58,23$  МПа;

25 характер разрушения: по цилиндрической части баллона.

Данное испытание аналогично испытанию В.7 ГОСТ Р 55891, поэтому результат был принят на этапе технического решения как для водородного баллона.

30 Баллоны, на которые распространяется действие настоящей полезной модели, должны использоваться в составе конструкций топливных систем хранения, устанавливаемых на автомобильные транспортные средства большой грузоподъемности или установленных в раме, такой как связка или прицеп.

35 Баллон на заправке должен быть достаточно большим. В противном случае, требования заправляющего компрессора могут уменьшить скорость заправки (скорость заправки - основная причина, по которой развитие техники идет к замене обычных видов транспортного топлива на водород).

Чем выше давление, при котором хранится водород, тем меньший объем он занимает. Но, поскольку растет давление, необходимо увеличивать толщину стенки баллона, и, следовательно, его вес. Стоимость баллона увеличивается с ростом давления.

40 Поэтому, баллон 320 л при давлении сжатия до 25 МПа оптимален по весу и объему, и стоимости, и будет содержать примерно 6 кг сжатого водородного топлива (1 кг сжатого водородного топлива на 90 км). Таким образом, данный баллон в 320 л более эффективен в качестве транспортного бака, чем баллон 80 л как в прототипе.

45 Так, баллон согласно полезной модели имеет весовую эффективность (0,3 кг/л) и большой объем (320 л), при этом масса составной оболочки может составлять: лайнер 15 кг ( $\pm 10\%$ ), внутренняя силовая оболочка (уголь) 57 кг  $\pm 4$  кг, внешняя силовая оболочка (стекло) 11 кг  $\pm 3$  кг.

#### (57) Формула полезной модели

1. Баллон для компримированного газообразного водорода, состоящий из

герметичной составной оболочки - лайнера, где внешняя оболочка состоит из слоя, изготовленного спирально-перекрестной намоткой лент комбинированного армированного композиционного материала, со схемой армирования с кольцевыми и спиральными витками под углом намотки к горизонтальной оси баллона, отличающийся тем, что внутренняя тонкостенная оболочка изготовлена выдувным формованием в виде термопластичного компаунда на базе полиамида, а силовая оболочка изготовлена из двух слоев: внутренний силовой слой оболочки изготовлен из углепластика на основе углеродного волокна марки T700SC-24k с пределом прочности волокна 4,3 ГПа, модулем упругости 230 ГПа и полимерного эпоксидного связующего, причем спиральные слои с углами наклона относительно осевого направления баллона усилены слоями с окружным расположением волокон с углом наклона  $88^\circ$  относительно осевого направления баллона, внешний силовой слой оболочки изготовлен из стеклопластика на основе стеклоровинга марки 17M SE1200 2400 TEX и полимерного эпоксидного связующего к горизонтальной оси баллона, кольцевой виток под углом намотки  $88^\circ$  к горизонтальной оси баллона, схема армирования силовой оболочки выполнена так, что периферийный слой армирующего волокна и аксиальный слой волокна намотаны последовательно.

2. Баллон по п. 1, отличающийся тем, что спиральные слои выполнены с углами наклона от  $7^\circ$  до  $79^\circ$  относительно осевого направления баллона.

3. Баллон по п. 1, отличающийся тем, что полимерное эпоксидное связующее внутреннего слоя силовой оболочки имеет структуру армирования волокон, при объемной доле волокна  $75\pm 5\%$  по весу, с многозонной укладкой с углами наклона к оси баллона.

4. Баллон по п. 1, отличающийся тем, что полимерное эпоксидное связующее внешнего слоя силовой оболочки имеет структуру армирования стекловолокон при объемной доле стекловолокна  $75\pm 5\%$  по весу.

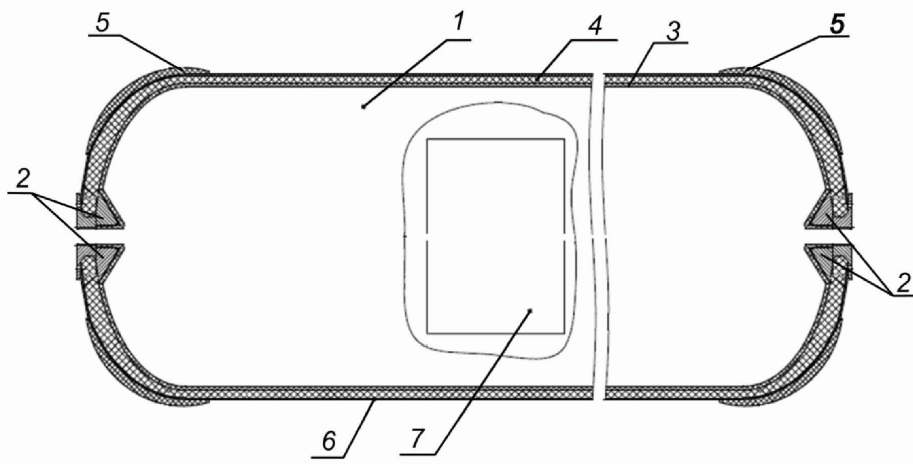
5. Баллон по п. 1, отличающийся тем, что лента волокон для намотки выполнена из 4 жгутов.

30

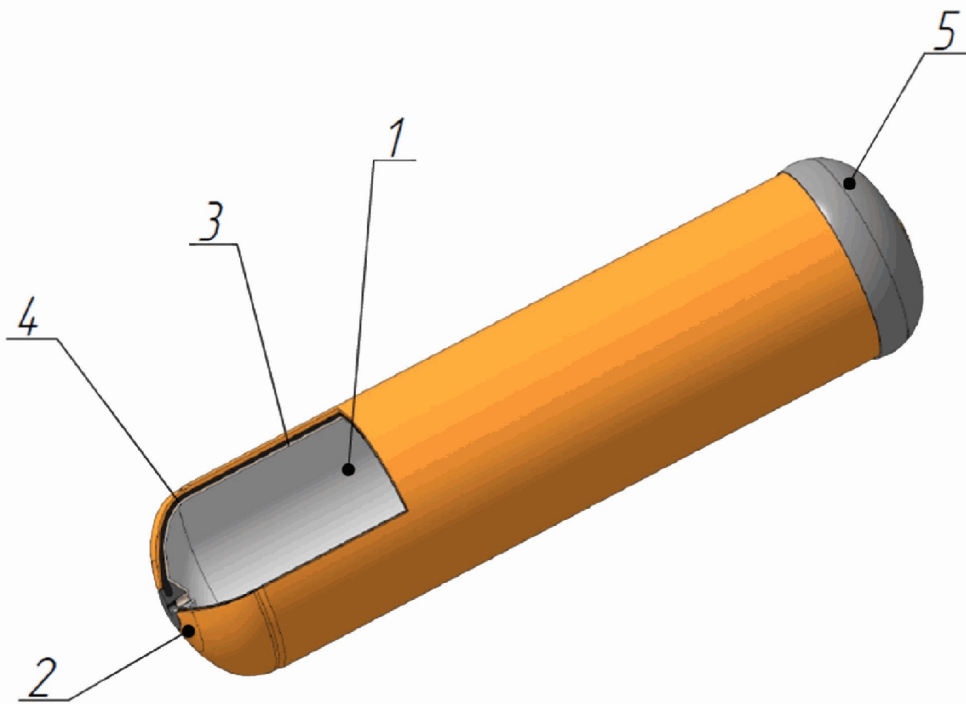
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2