

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-27-37

***Осипова Н.Н., Яковлев Д.С.**

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

*E-mail: osnat75@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ В КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГАЗОМ

Аннотация. Внедрение в практику газоснабжения новых прогрессивных материалов приводит к созданию новых изделий с улучшенными качествами. Для коммунально-бытового применения наряду с традиционными металлическими баллонами для сжиженного углеводородного газа в последнее время предлагаются композитные баллоны. Обладая рядом неоспоримых преимуществ, композитные баллоны ежегодно увеличивают долю присутствия в сфере баллонного газоснабжения. Однако переход с традиционных металлических баллонов не должен сопровождаться банальной заменой сосудов, а требует всестороннего, грамотного подхода к применению системы газоснабжения на базе баллонов из композитных материалов у потребителя. Используя основные положения, характеризующие изменения состояний смесей газов, входящих в состав сжиженного углеводородного газа, принимая во внимание особенности теплообмена, исследуемых сосудов, принципы работы газоиспользующего оборудования у потребителя разработаны методические основы по эксплуатации композитных баллонов для коммунально-бытового обеспечения потребителя. В результате проведенных исследований определена масса газа для заполнения баллонов с учетом сезонности эксплуатации и марок, рекомендованных для коммунально-бытового потребления, исследован процесс генерации паровой фазы в суточном цикле эксплуатации для обеспечения пищевого приготовления и горячего водоснабжения, определены периоды непрерывной работы индивидуальной баллонной установки с различной вместимостью одиночного композитного баллона и количество замен баллонов в годовом цикле эксплуатации.

Ключевые слова: сжиженный углеводородный газ, композитный баллон, масса газа, коэффициент теплопередачи, периодическое использование, период эксплуатации.

Введение. По оценкам мировых экспертных агентств объем рынка баллонов сжиженного углеводородного газа (СУГ) в мире ежегодно будет расти в среднем на 6,73 % в период с 2022 по 2027 год и на 9,1 % с 2027 по 2030 годы [1–3]. При этом применению композитных баллонов у конечного потребителя в сфере жилья, коммерции и промышленности прогнозируют уверенный ежегодный рост не менее 4,1 % [1, 3]. Перспективу расширения применения композитных баллонов обеспечивают увеличение требований в стандартах безопасности по использованию газового топлива разных стран, улучшение качества композитных баллонов по сравнению с металлическими и алюминиевыми аналогами и широкий типоразмерный ряд сосудов вместимостью от 1 л до 47 л [4, 5]. Также, в качестве предпосылок к расширению сфер применения сжиженного углеводородного газа, в том числе и баллонного газоснабжения, необходимо отметить продолжающееся увеличение численности населения и урбанизацию мелких поселений за счет миграции, рост количества фермерских хозяйств, растениеводческих и животноводческих площадок, обособленных туристических зон в труднодоступных районах [6–8]. Наибольший прирост рынка потребления сжиженного углеводородного газа и перспективу развития применения композитных баллонов демонстрируют страны

Азиатско-Тихоокеанского региона, включающего в себя 16 стран островных государств Северо-Восточной, Юго-Восточной и Южной Азии, а также южной части Тихого океана, прогнозный вклад которых за рассматриваемый период составит 44 % от общего потребления в мире [2]. Расширение использования сжиженного углеводородного газа в различных отраслях хозяйства, в областях, не имеющих перспективы снабжения природным газом, позволит уменьшить энергетическую бедность населения, благодаря переходу с угля, дров, мазута на более совершенный вид топлива [8, 9].

Не смотря на увеличение использования композитных баллонов в России и мире, исследования по основам эксплуатации баллонов, заключающиеся в обосновании массы газа, заливаемой в баллон при заправке, протекании процессов регазификации жидкой фазы в композитных баллонах в различных климатических условиях, выборе оптимальных режимов использования баллонов у потребителя, обосновании возможности обеспечения различных нужд потребителя от баллонов различной вместимости, рекомендациях по продолжительности использования баллонов до очередной заправки или обмена, представлены в научной литературе весьма ограничено. Отдельные исследования посвящены изу-

чению свойств композитных материалов для изготовления баллонов необходимой прочности [5, 10, 11], сравнению представленных на рынке металлических и композитных баллонов [10, 12], внедрению систем отслеживания уровней заполнения композитных баллонов [9, 13]. Есть отдельные упоминания по фракционности испарения газа в баллонах и приведению смеси к требуемому числу Воббе для правильной работы горелок газоиспользующего оборудования [14, 15].

Отмечен целый ряд исследований для металлических баллонов сжиженного углеводородного газа, в которых даны рекомендации по эксплуатации, определению паропроизводительности, периоду использования у потребителя [16–19]. Однако в силу значительных отличий по составу материалов, конфигурации, вместимости баллонов, имеющиеся расчетные зависимости и рекомендации не могут быть применены к баллонам из композитных материалов, что формирует значительное количество вопросов по применению данных баллонов для газификации потребителей вместо стальных.

Особенностью сжиженных углеводородных газов является то, что они имеют значительный коэффициент объемного расширения, способствующий изменению объема жидкости в сосуде при колебаниях температуры окружающей среды [17]. Нагрев жидкой фазы приводит к ее расширению и при полном заполнении металлического сосуда происходит сброс части жидкости через предохранительные устройства. Для исключения сброса жидкой фазы из баллона и предотвращения возможного разрыва оболочки (для металлических баллонов), предельная температура возможного нагрева баллонов, устанавливаемых наземно открытым способом, составляет плюс 65 °С с максимальным уровнем заполнения сосудов 85 %, соответствующие объемному расширению жидкости, формирующей максимально разрешенное избыточное давление в сосуде сжиженного углеводородного газа до 1,6 МПа. Учитывая улучшенные прочностные свойства композитных баллонов, в которых максимальное избыточное давление в сосуде принимается 2,0 МПа, рекомендуемый уровень заполнения по ГОСТ 54982 в основном характерный для металлических баллонов и резервуаров, являющийся единым для сжиженных углеводородных газов различного компонентного состава обуславливает гарантированный недолив в сосуд сжиженного газа марок, с низким содержанием пропана и повышенным содержанием бутана, так как пропан в составе смеси имеет больший коэффициент объемного расширения и формирует при прочих равных условиях большие давления по сравне-

нию с компонентом бутан, что приводит к не рациональному использованию композитных баллонов различной вместимости.

Эксплуатационная практика систем газоснабжения с применением СУГ показала, что определяющим критерием при генерации газовой фазы является процесс обмена тепла сосуда с окружающей средой [16, 19–21]. В то же время, сведения по особенностям передачи тепла жидкой фазе СУГ через стенку композитного баллона в известной литературе отсутствуют. Отличие композитных баллонов по материалу изготовления, формфактору сосуда, толщине стенки, максимальному избыточному давлению, не позволяют применять коэффициенты теплопередачи, используемые при расчете металлических сосудов с поправочными корректирующими значениями. При этом определить паропроизводительность композитного баллона, его продолжительность работы у потребителя при использовании газа на цели пищевого приготовления и горячее водоснабжение представляется весьма затруднительным.

В связи с ранее сказанным, задачами, раскрывающими суть исследований, являются:

- определение максимального заполнения композитных баллонов сжиженным газом с учетом сезонности эксплуатации и состава газа;
- исследование режимов работы баллонов с учетом неравномерности генерации паровой фазы в суточном цикле эксплуатации с учетом обеспечения потребности пищевого приготовления и горячего водоснабжения потребителей с варьированием остаточного содержания жидкой фазы в баллоне и сезона эксплуатации;
- определение периода непрерывной работы индивидуальной баллонной установки и количества замен баллонов в годовом цикле эксплуатации.

Методика. Для решения поставленных задач используются методы математического моделирования, методы анализа изучаемых свойств объектов исследований, методы обобщения и корреляции полученных результатов с помощью ЭВМ, графические методы интерпретирования полученных результатов.

В качестве объектов исследований приняты композитные баллоны, применяемые для газоснабжения потребителей и представленные на рынке Российской Федерации, выпускаемые отечественными (Rugasco Compolite CS, Россия) и зарубежными (Hexagon Ragasco LPG, Норвегия; Supreme, LiteSafe, Индия; Burhan Gas, Пакистан; HPC Research LPG, Чешская Республика) производителями [3–5].

Коэффициент заполнения баллона газом, состоящим из i компонентов, определится как отношение объемного расширения при действительной температуре к объемному расширению при максимально допустимой температуре нагрева:

$$k_3 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{v_{ж}}, \quad (1)$$

где v_i – удельный объем i -компонента при действительной температуре жидкой фазы в момент заполнения сосуда, $\text{м}^3/\text{кг}$; $v_{ж}$ – удельный объем жидкой фазы многокомпонентного газа при максимально допустимой температуре нагрева при наземной установке сосуда, принимаемой равной плюс 65°C , $\text{м}^3/\text{кг}$ [17].

Согласно ГОСТ Р 20488, все марки сжиженного углеводородного газа преимущественно состоят из пропана и бутана в различных количественных соотношениях, которые в соответствии с правилом аддитивности формируют общий объем жидкой фазы в баллоне, определяемый по диаграммам состояния при максимально допустимой температуре в насыщенном состоянии [16].

Тогда, предельно допустимый объем жидкой фазы в баллоне, м^3 :

$$V_6' = \frac{V_6(a v_{пр} + b v_6)}{v_{ж}}, \quad (2)$$

где a, b – содержание в жидкой фазе газа пропана и бутана, % (вес.).

Предельно допустимая масса жидкой фазы в баллоне, кг:

$$M_{г}^{\max} = V_6' \rho_{см}, \quad (3)$$

где $\rho_{см}$ – плотность жидкой фазы СУГ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Принимая во внимание исследования авторов, представленных в научной работе [22], с учетом формул (1-3), коэффициент теплопередачи стенки композитного баллона СУГ для наиболее распространенных в практике эксплуатации типоразмеров баллонов вместимостью от 5 л до 47 л, с учетом динамики изменения массы жидкой фазы газа в баллоне в диапазоне 0,1 $M_{г}^{\max} \leq M_{г} \leq M_{г}^{\max}$, при протекании процесса теплопередачи в условиях естественной конвекции, при наихудших условиях эксплуатации с изменением скорости движения воздуха около рассматриваемого баллона $v=0$ м/с, может быть представлен в виде корреляционной зависимости с коэффициентом корреляции $R^2=0,994$, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$:

$$k = 0,054 \frac{M_{г}}{M_{г}^{\max}} \left[\frac{11M_{г}^2}{(M_{г}^{\max})^2} + \frac{M_{г}}{M_{г}^{\max}} - 3,32 \right] + 4,34. \quad (4)$$

Количество испаренного газа в баллоне при постоянном отборе паровой фазы на нужды потребителя, $\text{кг}/\text{ч}$, определяется по формуле [16]:

$$g = \frac{kF_{см}(t_{в} - t_{ж})}{r}, \quad (5)$$

где k – коэффициент теплопередачи стенки баллона $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$; $F_{см}$ – смоченная поверхность баллона жидкой фазой газа, м^2 ; $t_{в}$ – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$; $t_{ж}$ – температура сжиженного газа в баллоне, $^\circ\text{C}$; r – скрытая теплота парообразования сжиженного газа, $(\text{Вт}\cdot\text{ч})/\text{кг}$.

Реальная эксплуатация баллонов СУГ показала, что отбор паровой фазы из баллона носит не постоянный характер, чередующий периоды отдыха баллона и периоды использования газа. В научной работе [23] авторами рекомендовано определять паропроизводительность баллона с учетом поправочного коэффициента неравномерности генерации паровой фазы:

$$\gamma = \frac{e^{-x} - e^{-w}}{1 - e^{-w}}, \quad (6)$$

где x, w – показатели степени, которые, в свою очередь, определяются как:

$$x = \frac{kF_{см}^{\text{II}} \tau_{\text{кон}}}{c_{г} M_{г}^{\text{II}} + c_{ст} M_{ст}^{\text{II}}}; \quad (7)$$

$$w = \frac{\tau_{\text{исп}} kF_{см}^{\text{II}}}{c_{г} M_{г}^{\text{II}} + c_{ст} M_{ст}^{\text{II}}}, \quad (8)$$

где $F_{см}^{\text{II}}$ – смоченная поверхность баллона, соответствующая режиму испарения газа, м^2 ; τ – время, ч; $c_{г}; c_{ст}$ – теплоемкость сжиженного газа и стенки баллона соответственно, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{K}$; $M_{г}^{\text{II}}, M_{ст}^{\text{II}}$ – масса жидкой фазы газа в баллоне, в период испарения и корпуса баллона, контактирующего с жидкой фазой, кг.

Учитывая, что потребителю всегда предоставляется минимально 2 баллона: один основной, другой обменный, для возможности формирования периода ожидания замены опорожненного баллона, годовое количество заправок индивидуальной баллонной установки сжиженным газом определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{G_{\text{год}} n}{1,8 M_{г}^{\max}}, \quad (9)$$

где $G_{\text{год}}$ – годовой расход сжиженного газа потребителем, с учетом расходования газа на

нужды пищевого приготовления и горячего водоснабжения кг/(чел год) [24]; n – коэффициент заселенности квартиры, чел.

Период эксплуатации индивидуальной баллонной установки между соседними заправками z , сут, составляет:

$$z = 365\varepsilon^{-1}. \quad (10)$$

Результаты. Согласно выражениям (1-10) были проведены соответствующие расчеты при следующих исходных данных:

– состав сжиженного углеводородного газа согласно ГОСТ 20488: пропан технический (ПТ), пропан-бутан технический (ПБТ), бутан технический (БТ);

– диапазон изменения температур жидкой фазы СУГ от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$;

– вместимость композитных баллонов 5 л; 12,7 л; 24,5 л; 47 л;

– длительность потребления газа в сутки: от 1 ч до 24 часов;

– заполнение баллона жидкой фазой газа – M_T^{\max} ; $0,5 M_T^{\max}$; $0,1 M_T^{\max}$;

– потребление газа: пищевого приготовления 1,1 кг/ч (максимальное); 0,068 кг/ч (минимальное); пищевого приготовления и горячее водоснабжение – 1,58 кг/ч (по техническим паспортам оборудования);

– коэффициент суточной неравномерности газопотребления жилыми домами, оборудованными газовыми плитами и водонагревателями составляет $k_{\text{сут}}=0,7$ согласно СП 42-101-2003.

Результаты расчета, обобщения полученных данных и их анализа представлены в табл. 1–4 и на рис. 1.

Таблица 1

Коэффициент заполнения баллонов жидкой фазой газа

Температура жидкой фазы, $^{\circ}\text{C}$	Марка СУГ (ГОСТ 20488)		
	ПТ	ПБТ	БТ
-30	0,77	0,79	0,79
-20	0,79	0,80	0,81
-10	0,80	0,81	0,82
0	0,81	0,83	0,83
10	0,84	0,85	0,86
20	0,87	0,88	0,88
30	0,91	0,91	0,91
40	0,95	0,94	0,94

Как видно из таблицы 1, уровень заполнения баллона изменяется в зависимости от температуры жидкой фазы, увеличиваясь при повышении последней. В рамках одной марки газа с неизменяемым начальным компонентным составом сжиженного газа колебания уровня заполнения составляют от 77–79 % до 94–95 %, при этом наибольшее расхождение наблюдается у марки газа «пропан технический» к минимальной величине заполнения, что составляет 23,4 %. Если принимать во внимание практику заполнения независимо от марки газа и температуры жидкой фазы до уровня газа в баллоне 85 %, отклонения по переливу в холодный период года составят от 4,7 % до 9,4 % в зависимости от температуры заливаемого газа (верхняя область таблицы, заливка синим).

Учитывая применение марок газа «пропан-бутан технический» и «бутан технический» преимущественно в теплый период года для газоснабжения населения, то в зависимости от температуры жидкого газа, заливаемого в баллон недолив газа по отношению к общепринятому уровню

может составлять до 10,6 % (нижняя область таблицы, заливка розовым).

Данное обстоятельство приводит к переливу жидкой фазы в холодный период времени года при отрицательных температурах при использовании марки газа «пропан технический» (верхняя область таблицы, заливка синим) и соответственно недоливу в сосуды жидкой фазы при положительной температуре окружающей среды (нижняя область таблицы, заливка розовым), что снижает возможность по качественному использованию вместимости сосудов.

Предельно допустимая масса газа, рекомендуемая к заполнению в баллон, в зависимости от компонентного состава представлена в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, заполнение баллона по массе остается постоянным при изменении температуры жидкой фазы и в рамках любого компонентного состава газа. Масса заливаемого газа при заполнении баллонов марками газов с увеличением содержания в смеси бутана растет, достигая у «бутана технического» 22,45 кг для

баллона вместимостью 47 л, что на 7,3 % больше по сравнению с зимней смесью «пропан технический» для аналогичного баллона. Таким образом, при заправке баллонов газов необходимо ориентироваться не на уровень заполнения, а на марку

газа и заливаемую массу, которую необходимо определять при непосредственной заправке баллонов контрольным взвешиванием перед отпуском потребителю.

Таблица 2

Предельно допустимая масса газа для заполнения баллонов жидкой фазой

Вместимость баллона, л	Масса жидкой фазы к заполнению баллона для марки СУГ (ГОСТ 20488) M_T^{\max} , кг		
	ПТ	ПБТ	БТ
5	2,22	2,34	2,39
12,7	5,65	5,94	6,06
24,5	10,91	11,46	11,7
47	20,92	21,99	22,45

Варьирование времени отдыха и использования баллонов, при изменении массы жидкого газа

для сосудов вместимостью от 5 литров до 47 литров, позволила получить коэффициент неравномерности генерации паровой фазы (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициента неравномерности генерации паровой фазы при периодическом использовании баллонов

Отношение периода использования газа к периоду отдыха баллона	Значение коэффициента γ при заполнении сосуда, кг											
	M_T^{\max}				$0,5 M_T^{\max}$				$0,1 M_T^{\max}$			
	и вместимости сосуда, л											
	5	12,7	24,5	47	5	12,7	24,5	47	5	12,7	24,5	47
1/23	2,89	3,71	4,54	5,31	2,85	3,69	4,48	5,19	2,40	3,03	3,61	5,19
2/22	1,75	2,14	2,55	2,93	1,73	2,13	2,52	2,87	1,52	1,81	2,09	2,87
4/20	1,22	1,40	1,58	1,76	1,22	1,39	1,57	1,74	1,13	1,25	1,38	1,74
6/18	1,08	1,18	1,29	1,40	1,08	1,18	1,28	1,38	1,04	1,10	1,17	1,38
8/16	1,03	1,09	1,16	1,23	1,03	1,09	1,15	1,22	1,01	1,04	1,08	1,22
10/14	1,01	1,04	1,09	1,14	1,01	1,04	1,08	1,13	1,00	1,02	1,04	1,13
12/12	1,01	1,02	1,05	1,08	1,01	1,02	1,05	1,08	1,00	1,01	1,02	1,08
14/10	1,00	1,01	1,03	1,05	1,00	1,01	1,03	1,05	1,00	1,00	1,01	1,05
16/8	1,00	1,01	1,02	1,03	1,00	1,01	1,02	1,03	1,00	1,00	1,01	1,03
18/6	1,00	1,00	1,01	1,02	1,00	1,00	1,01	1,02	1,00	1,00	1,00	1,02
20/4	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01
24/0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Как видно из таблицы 3, коэффициент неравномерности генерации паровой фазы имеет максимальные значения при начальном уровне заполнения не зависимо от вместимости комбинированных баллонов и минимальном использовании баллонов в сутки до одного часа, при этом уменьшение массы газа в баллонах при очередном старте эксплуатации уменьшает генерацию паровой фазы во время отдыха, снижаясь до единицы при минимальном уровне заполнения. Отдых баллонов приводит к накоплению паровой фазы над зеркалом испарения в сосудах, при этом генерация паровой фазы увеличивается для баллона 5 литров в 2,89 раза, а для баллона 47 литров в 5,31 раза.

Таким образом, увеличение периода отдыха баллонов при их эксплуатации обеспечивает генерацию дополнительного объема паровой фазы,

что способствует обеспечению необходимого количества паровой фазы в период потребления газа на покрытие коммунально-бытовых нужд потребителя.

Увеличение периода непрерывной эксплуатации баллона переводит его в режим постоянной генерации паровой фазы и определение паропроизводительности баллона в этом случае, производится по формуле (5).

Как показали проведенные исследования, периодичность использования баллонов сжиженного углеводородного газа оказывает значительное влияние на величину паропроизводительности (рис. 1). При эксплуатации баллонов в переменном режиме, сочетающем потребление и отдых, паропроизводительность увеличивается не зависимо от сезона эксплуатации.

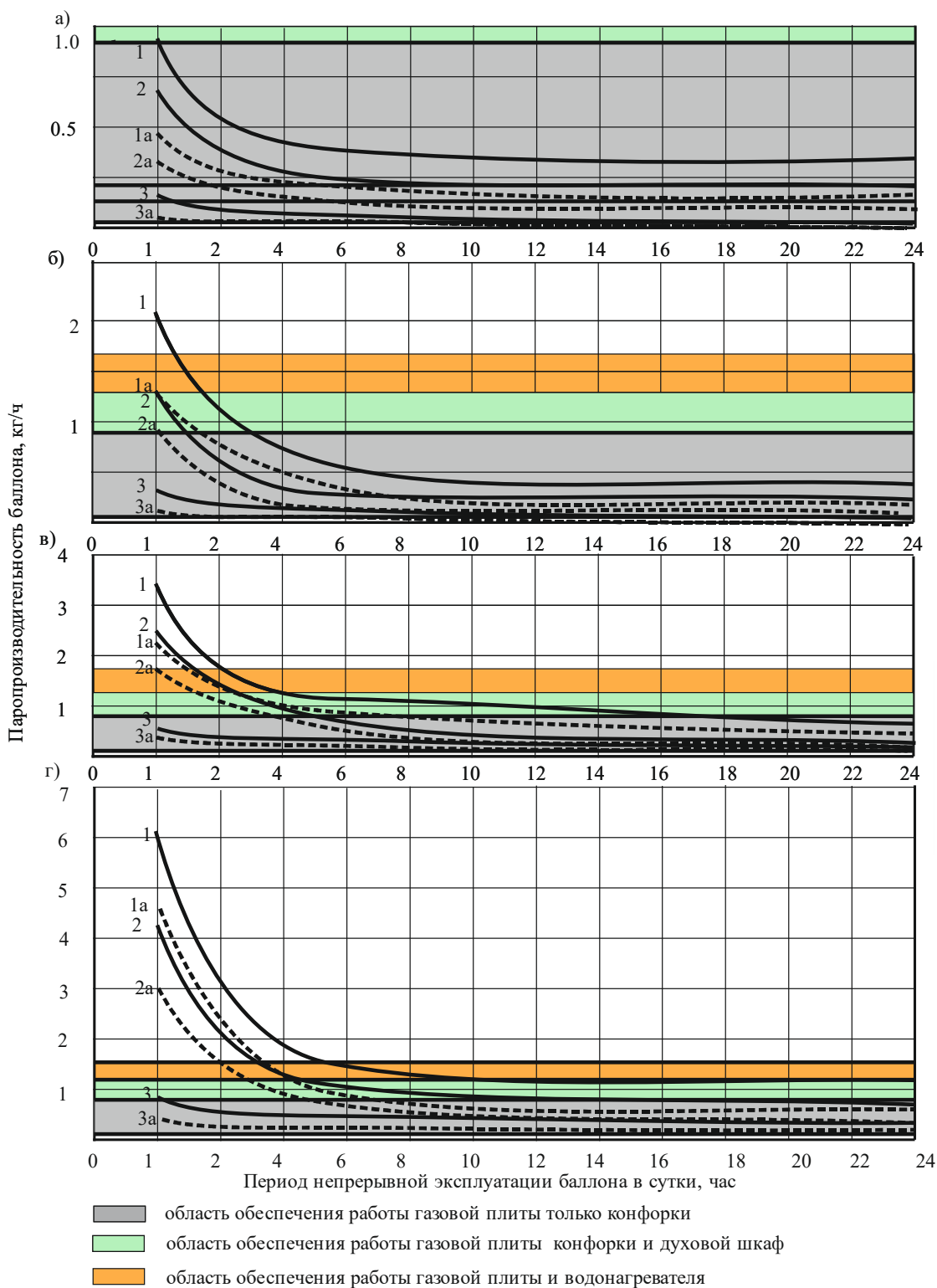


Рис. 1. Паропроизводительность композитных баллонов вместимостью: а) 5 л; б) 12,7 л; в) 24,5 л; г) 47 л при периодическом использовании газа:

в теплый период: 1 – при заполнении M_{Γ}^{\max} ; 2 – при заполнении $0,5 M_{\Gamma}^{\max}$; 3 – при заполнении $0,1 M_{\Gamma}^{\max}$;

в холодный период: 1а – при заполнении M_{Γ}^{\max} ; 2а – при заполнении $0,5 M_{\Gamma}^{\max}$; 3а – при заполнении $0,1 M_{\Gamma}^{\max}$

В то же время использование баллона вместимостью 5 литров не обеспечивает газоснабжение даже на нужды пищеприготовления в любом сезоне эксплуатации. При полной мощности

газопотребления и первоначальном заполнении баллона, его использование рекомендуется только для работы одной или двух конфорок в любом диапазоне непрерывного использования (нижняя граница области обеспечения работы

газовой плиты – эксплуатация маломощной конфорки 0,6 кВт), при этом работа водонагревателя при подключении к баллону невозможна.

Баллон вместимостью 12,7 литров гарантированно обеспечивает работу газовой плиты при использовании газа всеми горелками до 1,5 часов в сутки в диапазоне заполнения от M_T^{\max} до $0,5M_T^{\max}$. Работа проточного водонагревателя в теплый период обеспечивается при уровне заполнения баллона M_T^{\max} при непрерывной работе в сутки до 1,0 часа. В зимний период эксплуатации обеспечивается работа всех газовых конфорок при непрерывном газопотреблении до 1,0 часа в сутки при заполнении баллона газом от M_T^{\max} до $0,5M_T^{\max}$, в остальное время непрерывного использования совместная работа всех конфорок не возможна и работа газовой плиты обеспечивается работой 2 конфорок. Работа проточного газового нагревателя не возможна, независимо от заполнения баллона газом.

Баллон вместимостью 24,5 литра обеспечивает полноценную работу газовой плиты до 2 часов при снижении массы газа до $0,5M_T^{\max}$. При минимальной массе газа в баллоне баллон обеспечивает работу газовой конфорки минимальной мощности при переходе на постоянный режим использования. Приготовление горячей воды возможно при снижении заполнения баллона до $0,5M_T^{\max}$ и

непрерывном использовании до 1,5 часов в сутки. В зимний период устойчивая работа газовой плиты обеспечивается при непрерывном использовании газа до 1,5 часов в сутки в зависимости от массы газа в баллоне, приготовление горячей воды до 1 часа непрерывного использования водонагревателя.

Баллон вместимостью 47 литров обеспечивает максимальное использование газа на нужды пищеприготовления до 4,2 часа непрерывного использования в диапазоне изменения массы газа в баллоне от M_T^{\max} до $0,5M_T^{\max}$ в летний период и до 2,4 часа в зимний период. При уменьшении количества газа баллон обеспечивает устойчивую работу 2 газовых конфорок вплоть до переключения на другой баллон в баллонной установке. Приготовление горячей воды обеспечивается до 3 часов непрерывного использования в сутки в теплый период и до 2 часов в сутки в холодный период.

При снижении массы газа от $0,5M_T^{\max}$ до $0,1M_T^{\max}$ при вместимости баллона от 12,7 до 47 литров генерация паровой фазы баллонов обеспечивает работу 1 или 2 газовых конфорок, обуславливая минимальный уровень газопотребления в любой период эксплуатации системы (кривые 3 и 3а).

Вместимость баллонов и направление использования газа определяют длительность их непрерывной эксплуатации у потребителя и количество замен (обменов) баллонов (табл. 4).

Таблица 4

К определению количества заправок и периода непрерывной эксплуатации индивидуальной баллонной установки в год

Вместимость баллона, л	Количество заправок в год, шт			Период непрерывной эксплуатации, сут		
	при наличии в квартире газовой плиты					
	и централизованного горячего водоснабжения при газоснабжении	и отсутствии централизованного горячего водоснабжения и газового водонагревателя	и газового водонагревателя (при отсутствии централизованного горячего водоснабжения)	и централизованного горячего водоснабжения при газоснабжении	и отсутствии централизованного горячего водоснабжения и газового водонагревателя	и газового водонагревателя (при отсутствии централизованного горячего водоснабжения)
5	74	111	-	4,9	3,3	-
12,7	29	44	-	12,5	8,4	-
24,5	15	23	39	24,2	16,1	6,2
47	8	12	20	46,4	30,9	12,0

Как видно из таблицы 4, меньший период эксплуатации баллонной установки обеспечивается при совместной работе газовой плиты и проточного водонагревателя, при обеспечении нужд горячего водоснабжения и пищеприготовления, составляя 12 суток при использовании газовых

баллонов вместимостью 47 литров. Баллоны 5 л и 12,7 литров не обеспечивают совместной работы газовой плиты и водонагревателя, баллоны 24,5 литров требуют замены через 6,2 суток, что является не приемлемым с точки зрения обеспечения своевременности подвоза баллонов потребителю

для обмена. Наиболее продолжительный период обуславливает использование баллонов для работы газовой плиты с целью только пищевого приготовления. Максимальный срок эксплуатации баллонов составит до 46 суток при баллонах вместимостью 47 литров.

Проведенные исследования показали, что композитные баллоны малой вместимости 5 литров могут использоваться как источники временного газоснабжения, обеспечивая минимальное газопотребление в основном для разогрева пищи без приготовления горячей воды. Указанные баллоны не могут быть рекомендованы как источники газоснабжения жилых зданий при первичной газификации объектов до момента подключения к сетям природного газа.

Баллоны вместимостью от 12,7 до 24,5 литров могут использоваться для обеспечения пищевого приготовления. При этом приготовление горячей воды будет обеспечиваться только в начальный период эксплуатации баллонов, что не позволит иметь устойчивое горячее водоснабжение.

Применение баллонов вместимостью 47 литров обеспечивает пищевое приготовление и горячее водоснабжение, при этом количество баллонов в групповой установке должно приниматься из расчета двухнедельного запаса в холодный период времени года с учетом неустойчивости погоды и возможных трудностей с доставкой баллонов потребителям. Для этих целей необходимо применять индивидуальные и групповые баллонные установки, выносимые за пределы жилого здания с учетом расстояний, согласованных с правилами безопасности и сводами правил по эксплуатации баллонных установок согласно расчету соответствующего газопотребления объектом.

Выводы.

1. Для повышения эффективности использования вместимости композитных баллонов, рекомендовано заполнение баллонов осуществлять по массе заливаемого газа с учетом сезона эксплуатации и марки СУГ. Учет заполнения баллонов по массе позволит увеличить количество наливаемой жидкости в баллон в теплый период эксплуатации до 5,1 % при марке сжиженного углеводородного газа «пропан-бутан технический» и до 7,3 % при марке газа «бутан технический».

2. Определен коэффициент неравномерности генерации паровой фазы в баллоне при периодическом использовании сосудов, зависящий от конструктивных особенностей, температур окружающей среды и жидкой фазы газа, компонентного состава СУГ. Оценка паропроизводительности композитных баллонов с учетом коэффициента неравномерности генерации паровой фазы,

показала, что для нужд пищевого приготовления и горячего водоснабжения рекомендуется применять индивидуальные и групповые баллонные установки с вместимостью одиночного баллона не менее 47 литров, при этом максимальная генерация паровой фазы баллоном достигается при использовании его до 4,2 часов сутки в теплый период и до 2,4 часов в сутки в холодный период.

3. Определена продолжительность непрерывной эксплуатации баллонов и количество обменов баллонов в годовом режиме эксплуатации для обеспечения бесперебойного газоснабжения потребителей с обеспечением нужд пищевого приготовления и горячего водоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Composite Cylinder Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report by Cylinder: Global Opportunity // Analysis and Industry Forecast, 2021-2030. CP: Storage And Distribution, 2022. 353 p.

2. Liquefied Petroleum Gas Cylinder Market by Type, End-user and Geography. Oil & Gas Storage & Transportation // Forecast and Analysis 2023-2027, 2023. 162 p.

3. LPG Composite Cylinders Market Outlook Report - Industry Size, Trends, Insights, Market Share, Competition, Opportunities, and Growth Forecasts by Segments, 2022 to 2030 // Region: Global. 2023. 146 p.

4. Aburi Composite LPG Cylinders. London. United Kingdom, 2022. 11 p.

5. Composite cylinders use and handling in the propane industry // Propane Education & Research. 2022. 16 p.

6. Зуев А. Курс на полную газификацию // ТЭК России. 2021. № 2. С.14–17.

7. Тульцов В.А. Применение композитных газовых баллонов при газоснабжении потребителей // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2019. Т. 1. № 1 (44). С. 115–118.

8. Kojima M. The Role of Liquefied Petroleum Gas in Reducing Energy Poverty // World Bank. Oil, Gas, and Mining Policy Unit Working, 2011. 108 p.

9. WLPGA (The World LPG Association) Guide to Good Industry Practices for LPG Cylinders in the Distribution Channel 2019 // World Liquefied Petroleum Gas Association, 2019. 55 p.

10. Abdirashidov A.A., Nurqobilov N.K. Analysis of composite polymer materials used in high pressure gas cylinders // European Scholar Journal (ESJ). 2021. Vol. 2 №. 1. Pp. 27–28. <https://www.scholarzest.com>

11. Zhu Z., Zhang J., Zhan M., Di C. Ultimate strength of aluminium-steel composite cylinders under hydrostatic pressure // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2023. Vol. 37. Pp. 3303–3313.
12. Harrison S.B. Composite gas cylinders for fuel gases. *Gasworld*, 2021. Pp. 30–33.
13. Tripathi A., Kumar A., Chandrakar M.K. Design and Analysis of a Composite Cylinder for the Storage of Liquefied Gases // *International Journal for Scientific Research & Development*. 2017. Vol. 5. Iss. 03. Pp. 871–876.
14. Tian G. Simulation of the LPG component changes during the spontaneous vaporization // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2003. Pp. 1562–1567.
15. Shi G.-H., Aye L., Liu Y.-C., Du X.-J. Dynamic simulation of liquefied petroleum gas vaporization for burners // *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 137 (5) Pp. 575–583. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2018.04.030.
16. Клименко А.П. Сжиженные углеводородные газы. М.: Гостехиздат. 1962, 429 с.
17. Стаскевич Н.Л., Вигдорчик Д.Я. Справочник по сжиженным углеводородным газам. Л.: Недра. 1986, 543 с.
18. Курицын Б.Н. Повышение надежности газоснабжения от баллонных установок сжиженного газа // *Газ России*. М. 2005. С. 30–31.
19. Курицын Б.Н., Постарнак Д.А. Моделирование теплообмена в установках баллонного снабжения сжиженным газом // *Материалы Международной научно-практической конференции*
- «Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра». Саратов: СГАУ, 2014. С. 69–72.
20. Бычкова И.М., Поберий А.А. К определению коэффициента теплопередачи при теплообмене горловины подземного резервуара с окружающим грунтовым массивом // *Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. Саратов, 2018. № 9. С. 282–288.
21. Cristescu T. On a Class of Thermodynamic Process Involved in the Transport and Storage of Liquefied Petroleum Gas // *Oil & Gas University of Ploiesti Bulletin. Technical Series*. 2010. Vol. 62. № 3B. Pp. 162–168.
22. Osipova N.N., Grishin B.M. Modeling of operating modes gas composite cylinders // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021. №3 (51). Pp. 63–74. DOI:10.36622/VSTU.2021.51.3.005
23. Osipova N.N., Kulyaev S.G., Orlova U.A. Evaporation capacity of liquefied petroleum gas composite vessels in natural regasification mode // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 272. Pp. 255–262. DOI:10.1007/978-981-16-8759-4_27
24. Методика расчета норм потребления сжиженного углеводородного газа населением при отсутствии приборов учета газа: приказ Министерства регионального развития РФ от 15 августа 2009 г. № 340 // *Собрание законодательства РФ*. М., 2006. № 25. Ст. 2733.

Информация об авторах

Осипова Наталия Николаевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и нефтегазовое дело». E-mail: osnat75@mail.ru. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Россия, 410054, г. Саратов, улица Политехническая 77.

Яковлев Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и нефтегазовое дело». E-mail: dimon96@bk.ru. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Россия, 410054, г. Саратов, улица Политехническая 77.

Поступила 26.01.2024 г.

© Осипова Н.Н., Яковлев Д.С., 2024

***Osipova N.N., Yakovlev D.S.**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

**E-mail: osnat75@mail.ru*

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL FRAMEWORKS FOR THE OPERATION OF COMPOSITE CYLINDERS IN MUNICIPAL GAS SUPPLY TO CONSUMERS

Abstract. *The introduction of new advanced materials into gas supply practice leads to the creation of new products with improved qualities. For domestic use, along with traditional metal cylinders for liquefied petroleum gas, composite cylinders have recently been offered. Possessing a number of undeniable advantages, composite cylinders annually increase their share of presence in the field of bottled gas supply. However, the transition from traditional metal cylinders should not be accompanied by a banal replacement of vessels, but requires a comprehensive, competent approach to the use of a gas supply system based on*

cylinders made of composite materials at the consumer. Using the basic principles characterizing changes in the states of mixtures of gases included in liquefied hydrocarbon gas, taking into account the characteristics of heat exchange, the vessels under study, and the principles of operation of gas-using equipment at the consumer, methodological principles have been developed for the operation of composite cylinders for the consumer's household needs. As a result of the research, the mass of gas for filling cylinders was determined, taking into account the seasonality of operation and brands recommended for domestic consumption, the process of generating the vapor phase in the daily cycle of operation to ensure food preparation and hot water supply was investigated, and periods of continuous operation of an individual cylinder were determined in installations with different capacities of a single composite cylinder and the number of cylinder replacements in the annual operating cycle.

Keywords: liquefied hydrocarbon gas, composite cylinder, gas mass, heat transfer coefficient, periodic use, period of operation.

REFERENCES

1. Composite Cylinder Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report by Cylinder: Global Opportunity. Analysis and Industry Forecast, 2021-2030. CP: Storage And Distribution, 2022. 353 p.
2. Liquefied Petroleum Gas Cylinder Market by Type, End-user and Geography. Oil & Gas Storage & Transportation. Forecast and Analysis 2023-2027, 2023. 162 p.
3. LPG Composite Cylinders Market Outlook Report - Industry Size, Trends, Insights, Market Share, Competition, Opportunities, and Growth Forecasts by Segments, 2022 to 2030. Region: Global. 2023. 146 p.
4. Aburi Composite LPG Cylinders. London. United Kingdom, 2022. 11 p.
5. Composite cylinders use and handling in the propane industry. Propane Education & Research. 2022. 16 p.
6. Zuev A. The course to full gasification. Fuel and Energy Complex of Russia [Kurs na polnyu gazifikaciyu. TEK Rossii]. 2021. № 2. Pp. 14–17. (rus)
7. Tultsov V.A. Application of composite gas cylinders in gas supply of consumers. Improvement of methods of hydraulic calculations of culverts and treatment facilities [Primenenie kompozitnyh gazovyh ballonov pri gazosabzhenii potrebitel'ev. Sovershenstvovanie metodov gidravlicheskih raschetov vodopropusknyh i ochistnyh sooruzhenij]. 2019. Vol. 1. No. 1(44). Pp. 115–118. (rus)
8. Kojima M. The Role of Liquefied Petroleum Gas in Reducing Energy Poverty. World Bank. Oil, Gas, and Mining Policy Unit Working, 2011. 108 p.
9. WLPGA (The World LPG Association) Guide to Good Industry Practices for LPG Cylinders in the Distribution Channel 2019. World Liquefied Petroleum Gas Association, 2019. 55 p.
10. Abdirashidov A.A., Nurqobilov N.K. Analysis of composite polymer materials used in high pressure gas cylinders. European Scholar Journal (ESJ). 2021. Vol. 2 No. 1. Pp. 27–28. <https://www.scholarzest.com>
11. Zhu Z., Zhang J., Zhan M., Di C. Ultimate strength of aluminium-steel composite cylinders under hydrostatic pressure. Journal of Mechanical Science and Technology. 2023. Vol. 37. Pp. 3303–3313.
12. Harrison S.B. Composite gas cylinders for fuel gases. Gasworld, 2021. Pp. 30–33.
13. Tripathi A., Kumar A., Chandrakar M.K. Design and Analysis of a Composite Cylinder for the Storage of Liquefied Gases. International Journal for Scientific Research & Development. 2017. Vol. 5. Iss. 03. Pp. 871–876.
14. Tian G. Simulation of the LPG component changes during the spontaneous vaporization. Journal of Fuel Chemistry and Technology. 2003. Pp. 1562–1567.
15. Shi G.-H., Aye L., Liu Y.-C., Du X.-J. Dynamic simulation of liquefied petroleum gas vaporization for burners. Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 137 (5) Pp. 575–583. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.030.
16. Klimenko A.P. Liquefied hydrocarbon gases [Szhizhennyye uglevodorodnyye gazy] Moscow.: Gostekhizdat.1962. 429 p. (rus)
17. Staskevich N.L., Vigdorichik D.Ya. Handbook of Liquefied Petroleum Gases [Spravochnik po szhizhennym uglevodorodnym gazam]. L.: Nedra. 1986. 543 p. (rus)
18. Kuritsyn B.N. Increasing the reliability of gas supply from cylinder installations of liquefied gas [Povyshenie nadezhnosti gazosabzheniya ot ballonnyh ustanovok szhizhennogo gaza]. Gas of Russia. Moscow. 2005. Pp. 30–31. (rus)
19. Kuritsyn B.N., Postarnak D.A. Modeling of heat exchange in the installations of cylinder supply with liquefied gas. Materials of the International Scientific and Practical Conference «Cultural and Historical Heritage of Construction: yesterday, today, tomorrow» [Modelirovanie teploobmena v ustanovkakh ballonnogo snabzheniya szhizhennym gazom. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. «Kul'turno-istoricheskoe nasledie stroitel'stva: vchera, segodnya, zavtra»]. Saratov: SGAU, 2014. Pp. 69–72.
20. Bychkova I.M., Poberii A.A. On the determination of the heat transfer coefficient during heat

exchange of the neck of an underground reservoir with the surrounding soil mass [K opredeleniyu koefficienta teploperedachi pri teploobmene gorlovinny podzemnogo rezervuara s okruzhayushchim gruntovym massivom]. Resource and Energy Efficient Technologies in the Building Complex of the Region. Saratov. 2018. No. 9. Pp. 282–288. (rus)

21. Cristescu T. On a Class of Thermodynamic Process Involved in the Transport and Storage of Liquefied Petroleum Gas. Oil & Gas University of Ploiesti Bulletin. Technical Series. 2010. Vol. 62. No. 3B. Pp. 162–168.

22. Osipova N.N., Grishin B.M. Modeling of operating modes gas composite cylinders. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. No. 3 (51). Pp. 63–74. DOI:10.36622/VSTU.2021.51.3.005

23. Osipova N.N., Kulyaev S.G., Orlova U.A. Evaporation capacity of liquefied petroleum gas composite vessels in natural regasification mode. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2022. Vol. 272. Pp. 255–262. DOI:10.1007/978-981-16-8759-4_27.

24. Methodology for calculating the norms of liquefied hydrocarbon gas consumption by the population in the absence of gas meters: Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation № 340 dated of August 15, 2009 [Metodika rascheta norm potrebleniya szhizhennogo uglevodorodnogo gaza naseleniem pri otsutstvii priborov ucheta gaza: prikaz Ministerstva regional'nogo razvitiya RF ot 15 avgusta 2009 g. № 340]. Collection of Legislation of the Russian Federation. M., 2006. No. 25. Article. 2733. (rus)

Information about the authors

Osipova, Nataliya N. DSc, Assistant professor. E-mail: osnat75@mail.ru. Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. Russia, 410054, Saratov, st. Politechnicheskaya, 77.

Yakovlev, Dmitriy S. Postgraduate student. E-mail: dimon96@bk.ru. Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. Russia, 410054, Saratov, st. Politechnicheskaya, 77.

Received 26.01.2023

Для цитирования:

Осипова Н.Н., Яковлев Д.С. Разработка методических основ по эксплуатации композитных баллонов в коммунально-бытовом обеспечении потребителей газом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №3. С. 27–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-27-37

For citation:

Osipova N.N., Yakovlev D.S. Development of methodological frameworks for the operation of composite cylinders in municipal gas supply to consumers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 3. Pp. 27–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-27-37