

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-43-56>

Эксплуатация светлого излучателя на биогазе

Н.О. Ермаков¹, С.В. Чуйкин¹

¹ Воронежский государственный технический университет
ул. 20-летия Октября, д. 84, г. Воронеж 394006, Российская Федерация

✉ e-mail: nikita1594@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Одним из способов снижения потребления тепловой энергии на отопление помещений большого объема является способ, основывающийся на применении местных систем, к которым можно отнести системы газолучистого отопления с использованием светлых излучателей. Предлагается эксплуатировать светлый излучатель, на биогазе. Для определения возможности работы светлого излучателя на биогазе необходимо рассчитать оптимальные параметры эксплуатации светлого излучателя.

Методы. Исследования базировались на научных трудах ученых по теории горения газовых смесей и внедрению новых конструктивных решений газовых излучателей. В процессе изучения были использованы методы оптимизации и расчета газогорелочного оборудования.

С целью расчета оптимальных параметров эксплуатации требуется провести исследование особенности горения биогаза и получить зависимость температуры горения. Необходимо внести изменения, подтвержденные расчетами, в существующую конструкцию и режим работы светлого излучателя, функционирующего на природном газе, для эксплуатации на биогазе.

Результаты. Изучены особенности горения биогаза и определена максимальная температура горения. Доказана возможная эксплуатация светлого излучателя на биогазе при наборе оптимальных параметров.

Заключение. Обосновано изменение конструктивных характеристик светлого излучателя при эксплуатации на биогазе. Полученные результаты могут применяться в предпроектных разработках новой конструкции светлого излучателя под биогаз различного состава.

Ключевые слова: биогаз; светлый излучатель; теплота сгорания; параметры эксплуатации; оптимальные параметры; конструктивные изменения.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Ермаков Н. О., Чуйкин С. В. Эксплуатация светлого излучателя на биогазе // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022; 26(1): 43-56. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-43-56>.

Поступила в редакцию 23.12.2021

Подписана в печать 18.02.2022

Опубликована 31.03.2022

Operation of a Light Emitter on Biogas

Nikita O. Ermakov¹, Sergei V. Chuikin¹

¹ Voronezh State Technical University

84, 20th anniversary of October str., Voronezh 394006, Russian Federation

✉ e-mail: el.yatsun@gmail.com

Abstract

Purpose of research. One of the ways to reduce the consumption of thermal energy for heating large-volume premises is a method based on the use of local systems, which include gas-radiant heating systems using light emitters. It is proposed to operate a light emitter on biogas. To determine the possibility of operation of a light emitter on biogas, it is necessary to calculate the optimal parameters of operation of a light emitter.

Methods. The research was based on the scientific works of scientists on the theory of gorenje gas mixtures and the introduction of new design solutions of gas emitters. In the course of the study, methods of optimization and calculation of gas-burning equipment were used. In order to calculate the optimal operating parameters, it is required to conduct a study of the gorenje gorenje of biogas, and to obtain the dependence of the combustion temperature. It is necessary to make changes, confirmed by calculations, to the existing design and operating mode of the light emitter operating on natural gas for operation on biogas.

Results. The features of biogas combustion are studied and the maximum gorenje gorenje temperature is determined. The possible operation of a light radiator on biogas, with a set of optimal parameters, is proved.

Conclusion. The change in the design characteristics of the light emitter during operation on biogas is justified. The results obtained can be used in the pre-design development of a new design of a light emitter for biogas of various compositions.

Keywords: biogas; light emitter; heat of combustion; operating parameters; optimal parameters; design changes.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Ermakov N. O., Chuikin S. V. Operation of a Light Emitter on Biogas. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022; 26(1): 43-56 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-1-43-56>.

Received 23.12.2021

Accepted 18.02.2022

Published 31.03.2022

Введение

Светлый излучатель – это оборудование, представляющее собой горелку и излучающую панель, изготовленную из перфорированной керамической плитки, на поверхности которой сгорает газовоздушная смесь и отдает тепло в помещение. Данный прибор устанавливается в помещениях большого объема над желаемым местом обогрева и как правило не имеет газовой выводной систе-

мы, а продукты горения удаляются естественной вентиляцией [4]. Отопление светлыми излучателями основывается на тепловом излучении, а не через конвекцию, что намного эффективнее. Так энергия не поглощается воздухом и не создает «воздушной подушки» под потолком помещения, а достигает непосредственно отапливаемых площадей. Горение происходит на природном газе, для которого характерна высокая тем-

пература. Скорость потока газа тоже должна быть значительной.

Природный газ имеет уникальный состав в разных регионах и для определения возможности эксплуатации светлого излучателя на отличных от исходного газа, предлагается в качестве топлива использовать биогаз. Биогаз – газ, получаемый путем брожения из компонентов, которые содержатся в отходах аграрного производства и органических остатках, включая экскременты животных и материалы из растительной группы.

Для эксплуатации светлого излучателя на биогазе, необходимо изучить свойства топлива, оптимизировать под него оборудование и установить возможность обогрева, исходя из отдаваемого количества теплоты.

Материалы и методы

Состав биогаза и его количество, при полном разложении биомассы зависит от температуры брожения и соотношения $C : H : O : N$ в исходном материале. Входящие в состав органического вещества важнейшие соединения, жиры обеспечивают максимальный выход газа с высоким содержанием CH_4 , белковые вещества – меньший, но тоже с высоким содержанием CH_4 , а углеводы – мало с минимальным содержанием CH_4 . Средний состав газа (табл. 1), который можно выделить из экскрементов животных при нужной температуре брожения в $35^\circ C$, соответствует соотношению $CH_4/CO_2 = 2$. Биогаз так же содержит N_2 , H_2 и H_2S [5].

Таблица 1. Состав биогаза

Table 1. Composition of biogas

Характеристика/ Characteristic	Компоненты биогаза/ Biogas components				Базовая смесь (60% CH_4 + 40% CO_2)/ Base blend (60% CH_4 + 40% CO_2)
	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	
Объемная доля, %/ Volume fraction, %	60	30	<1	<3	100
Объемная теплота сгорания, МДж/м ³ / Volumetric heat of combustion, МДж/м ³	35,8	-	10,8	22,8	22
Предел воспламеня- емости, % / Flammability limit, %	5-15	-	4-80	4-45	6-12
t воспламенения, $^\circ C$ / t ignitions, $^\circ C$	65-750	-	585	-	650-750

Характеристика/ Characteristic	Компоненты биогаза/ Biogas components				Базовая смесь (60% CH ₄ + 40% CO ₂)/ Base blend (60% CH ₄ + 40% CO ₂)
	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	
Критическое давление, Мпа / Critical pressure, Мпа	4,7	7,5	1,3	8,9	7,5-8,9
Критическая t, °C/ Critical t, °C	-82,5	31,0	-	100,0	-2,5
Нормальная плотность, г/л/ Normal density, g/l	0,72	1,93	0,09	1,54	1,2
Критическая плотность, г/л/ Critical density, g/l	102	468	31	349	320
Плотность относительно воздуха/ Density relative to air	0,3	2,5	0,7	1,2	0,83

При эксплуатации светлого излучателя температура горения газа совпадает с температурой пламени, так как горение проходит в области, граничащей с керамической плиткой. Тогда, проведем расчет температуры горения биогаза состава из табл. 1. Сначала определим количество кислорода.

Теоретически требуемое число кислорода для полного сгорания углеводородных газов определяется по стехиометрическому уравнению:

$$C_n H_m + \left(n + \frac{m}{4}\right) O_2 = n CO_2 + \frac{m}{2} H_2 O. \quad (1)$$

Для того чтобы получить количество теоретического объема воздуха для сгорания рассматриваемой газовой смеси, необходимо принять во внимание объемное содержание кислорода в воздухе. Объемное содержание кислорода

в воздухе составляет 21%, следовательно, объем воздуха для сгорания 1 м³ в 4,76 раз больше объема кислорода (100/21 = 4,76). Объем воздуха, необходимый для сгорания 1 м³ биогаза, определяется по формуле:

$$V_m = 0,0476 \left[0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right]. \quad (2)$$

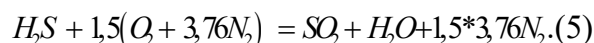
Рассчитав требуемое количество воздуха для полного сгорания 1 м³ биогаза, найдем объем каждого компонента продуктов горения, м³:

$$CH_4 + 2(O_2 + 3,76N_2) = CO_2 + 2H_2O + 2 \cdot 3,76N_2, \quad (3)$$

$$\beta(CH_4) = 2,$$

$$H_2 + 0,5(O_2 + 3,76N_2) = H_2O + 0,5 \cdot 3,76N_2, \quad (4)$$

$$\beta(H_2) = 0,5,$$



Вычислив объем каждого компонента, исходя из формул (3), (5), общий объем продуктов горения, м³ будет равен:

$$V_{nz}^* = V(CO_2) + V(H_2O) + V(H_2S) + V(N_2). (6)$$

Избыточный воздух будет находиться в продуктах горения, так как горение протекает с коэффициентом избытка воздуха.

Объем избытка воздуха, м³, определяется по формуле

$$\Delta V_m = V_m^* (\alpha - 1). (7)$$

Учитывая объем избытка воздуха, практический объем продуктов горения, м³ составит:

$$V_{nz} = V_{nz}^* + \Delta V_m. (8)$$

Принимая в расчет теплотери, определяем теплосодержание продуктов горения, кДж/кг:

$$Q_{nz} = Q_n^* (1 - 0,1). (9)$$

Определяем среднее теплосодержание продуктов горения, кДж/кг:

$$Q_{cp} = \frac{Q_{nz}}{V_{nz}}. (10)$$

По методическим рекомендациям, определяем теплосодержание продуктов горения Q_1 и Q_2 при температуре T_1 и T_2 К. Теплосодержание продуктов горения, рассчитанное ранее в формуле (9), должно находиться в интервале Q_1 и Q_2 , в уравнении:

$$Q_{nz}^1 \leq Q_{nz} \leq Q_{nz}^2. (11)$$

Если, теплосодержание продуктов горения подходит в уравнение (11), то определим температуру горения, К и составим график для выявления оптимального коэффициента избытка воздуха с использованием уже рассчитанных параметров:

$$T_c = T_1 + \frac{Q_{nz} - Q_{nz}^1}{Q_{nz}^2 - Q_{nz}^1} (T_2 - T_1), (12)$$

где Q_{nz} – теплосодержание продуктов горения, кДж/кг, с индексами 1,2 соответственно для T_1 , T_2 – температура горения определяемая по методическим рекомендациям.

Связь температуры горения от коэффициента избытка воздуха представлена на рис. 1.

На рис. 1 видно, что при увеличении коэффициента избытка воздуха происходит увеличение температуры горения топлива вследствие увеличения количества излучаемой теплоты. Однако наибольшее значение 2090 К соответствует рассчитанному коэффициенту избытка воздуха 1,19, далее кривая начинает приобретать наклонный характер и пропорционально снижается при увеличении значения коэффициента избытка воздуха^{1,2}.

¹ Ермолаев А.Н. Повышение эффективности работы систем инфракрасного обогрева производственных зданий: дис. канд. техн. наук. Тюмень, 2017. 191 с.

² Зиганшин Б.М. Снижение энергетических затрат в системах отопления производственных объектов радиационными трубами: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2006. 163 с.

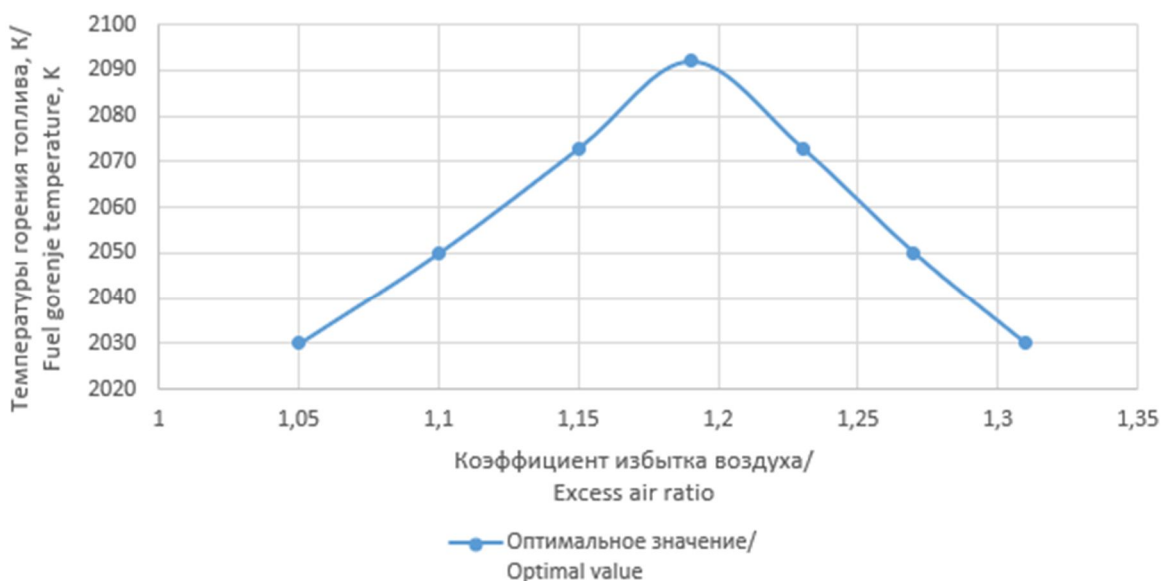


Рис. 1. Связь температуры горения от коэффициента избытка воздуха

Fig. 1. Gorenje temperature relation from the excess air coefficient

Результаты и их обсуждение

Расчет параметров для эксплуатации светлого излучателя на биогазе

Для определения возможности эксплуатации оборудования на различных газах используют число Воббе, которое показывает возможность взаимозаменяемости газов. Природный газ с теплотой сгорания 35 МДж/м³ имеет число Воббе 42 МДж/м³, в то время как у биогаза с содержанием метана 60 % и теплотой сгорания 22 МДж/м³, число Воббе 24,5 МДж/м³ [3].

Эксплуатация на биогазе светлого излучателя будет проходить с конструктивными изменениями в площади поперечного сечения форсунки, основных размеров инжекционного смесителя, площади керамической плитки. Конструктивные характеристики будут

заданы в соответствии с рассчитанными параметрами расхода газа, коэффициента избытка воздуха, связанного с теоретическим расходом воздуха, коэффициента инжекции, удельной тепловой нагрузки на керамическую плитку, скорости вылета газовой смеси, потери давления.

Для начала расчета определяется состав рассматриваемого газа и теплота сгорания. Исходя из теплоты сгорания газовой смеси и необходимой мощности излучателя, рассчитывается расход топлива светлого излучателя, м³/ч:

$$Q_{ном.г} = \frac{Q}{Q_n^p}, \quad (13)$$

где Q – тепловая нагрузка горелки, ккал/м³;

Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, ккал/м³.

Формула показывает изменение расхода топлива в зависимости от теплоты сгорания. Необходимая мощность излучателя и низшая теплота сгорания влияют на расход топлива. Чем ниже теплота сгорания, тем больше топлива необходимо подавать.

Основной параметр, обеспечивающий требуемый расход топлива, это размер форсунки. Площадь поперечного сечения форсунки (мм²) определяется по формуле

$$F_{\phi} = 78,4 * Q_{ном.г} * \sqrt{\frac{\gamma_0}{P}}, \quad (14)$$

где γ_0 - удельный вес газа, кг/м³;

P - давление газа перед горелкой, мм. вод. ст.

Диаметр форсунки (мм) будет равен:

$$d_{\phi} = \sqrt{\frac{4F_{\phi}}{\pi}}. \quad (15)$$

Затем необходимо определить длину пути смешивания газа с поступающим воздухом, исходя из него получить длину и диаметр горловины, диффузора, конфузора, которые связаны друг с другом в процентном соотношении.

Длина пути смешивания газа с поступающим воздухом, мм определяется по формуле

$$l_{см} = \frac{A_{см} d_{\phi}}{\alpha}, \quad (16)$$

где α - коэффициент структуры в струе;

$A_{см}$ - параметр смешения в струе;

$$A_{см} = \frac{(A' + 1) \sqrt{a_c C}}{3,217}, \quad (17)$$

где A' - кратность инжекции, исходя из умножения теоретического расхода

воздуха и коэффициента избытка воздуха (рис.);

α_c - коэффициент сжатия струи, 0,7;

C - коэффициент различия плотности воздуха и биогаза, 0,7.

Для сгорания газовой смеси в формуле (12), был рассчитан оптимальный теоретический расход воздуха, с учетом расхода газовой смеси и коэффициента смешивания, вычисляется площадь сечения отверстия для поступления воздуха, мм²:

$$f_{\phi} = \frac{A' Q_{ном.г}}{3600 * v}. \quad (18)$$

Площадь керамической плитки, с которой будет происходить излучение, определяется, исходя из принятого размера одной плитки, удельной тепловой нагрузки и диаметра отверстий вылета газовой смеси, см² :

$$f_{\kappa} = \frac{Q}{q_y}, \quad (19)$$

где q_y - удельная тепловая нагрузка керамической плитки, ккал/см²*ч.

Скорость вылета газовой смеси, м/сек. от отверстий плитки, определяется по формуле

$$v_{см} = \frac{q_{ном.г} (1 + A') 10^6}{3600 * 0,785 * d_n^2 * n}. \quad (20)$$

Когда скорость распространения пламени выше скорости течения газовой смеси, то происходит проскок пламени. Рассчитанная скорость в формуле (20) должна укладываться в соотношение, что обеспечит отсутствие проскока пламени:

$$v_{\min см} \leq v_{см} \leq v_{р.л.}, \quad (21)$$

где $v_{\min см}$ – минимальная требуемая скорость вылета газовойдушной смеси, м/сек.;

$v_{р.л.}$ – скорость распространения пламени биогаза, м/сек.

Общие потери давления не должны превышать входное и складываются по формуле

$$\sum \Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{в.к.} + \Delta P_{инж.} + \Delta P_{изл.п.}, \quad (22)$$

где $\Delta P_{в.к.}$ – потери в всасывающей камере, Па;

$\Delta P_{инж.}$ – потери в инжекторе, Па;

$\Delta P_{изл.п.}$ – потери в излучающей панели.

Зависимость суммарных потерь давления с входным давлением, Па:

$$\Delta P_{\Sigma} \geq \sum \Delta P_{\Sigma}, \quad (23)$$

где ΔP_{Σ} – входное давление, Па;

ΔP_{Σ} – суммарные потери давления, на преодоление сопротивления по всей горелке, Па.

Параметры эксплуатации

Рассчитанные параметры эксплуатации светлого излучателя, можно собрать в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики светлого излучателя, работающего на биогазе

Table 2. Characteristics of a biogas-powered light emitter

Наименования параметра / Parameter names	Значение / Meaning
Настраиваемые параметры / Configurable parameters	
Расход газа, м ³ /ч / gas consumption, m ³ /h	0,4
Теоретический расход воздуха, м ³ / Theoretical air consumption, m ³	5,474
Коэффициент избытка воздуха / Excess air ratio	1,19
Коэффициент инжекции / Injection coefficient	6,51
Удельная тепловая нагрузка на керамическую плитку, ккал/см ² *ч / Specific heat load on ceramic tiles, kcal/cm ² *h	14,0
Скорость вылета газовойдушной смеси, м/сек. / The rate of departure of the gas-air mixture, m/ sec.	0,1
Суммарные потери давления, Па / Total pressure loss, Pa	3
Конструктивные параметры / Design parameters	
Площадь сечения форсунки, мм ² / Nozzle cross-sectional area, mm ²	3,4
Диаметр форсунки, мм / Nozzle diameter, mm	2,0
Длина пути инжекции, мм / Injection path length, mm	48,3
Площадь сечения воздуха для поступления воздуха, мм ² / Air cross-sectional area for air intake, mm ²	1446

Окончание табл. 2 / Ending tabl. 2

Наименования параметра / Parameter names	Значение / Meaning
Диаметр горловины, мм / The diameter of the neck, mm	30,0
Длина горловины, мм / Neck length, mm	90,0
Диаметр диффузора, мм / Diameter of the diffuser, mm	44,0
Длина диффузора, мм / Length of the diffuser, mm	117,0
Диаметр конфузора, мм / Diameter of the confuser, mm	60,0
Длина конфузора, мм / Confuser length, mm	68,0
Площадь, см ² /кол-во керамических плиток, шт. / Area, cm ² /number of ceramic tiles, pcs.	154/7

Объединив все рассчитанные параметры в табл. 2, можно сказать, что для обеспечения расхода газа, 0,4 м³/ч, диаметр форсунки должен быть 2,0 мм. Получив теоретический расход воздуха 5,474 м³ с коэффициентом избытка воздуха 1,19, необходимый для полного сгорания газозвоздушной смеси, длина пути инъекции составит 48,3 мм. На основании вычисленных значений параметров эксплуатации скорость вылета газозвоздушной смеси составит 0,1 м/сек от 7 плиток, с общей площадью 154 см² и уложится в соотношение (21) для исключения проскока пламени.

Рассчитав все необходимые параметры эксплуатации светлого излучателя на биогазе, требуется подтвердить заявленное тепловое излучение для рассматриваемого светлого излучателя. Так как пламя покрывает все внешнюю поверхность излучающей плитки, то площадь теплообмена излучающей плитки с пламенем максимальна. Исходя из этого, абсолютное количество теплоты $Q_{изл.}$, излучаемое керамической плиткой, в соответствии с законом Стефана

– Больцмана, зависит от площади поверхности излучения и находится по формуле

$$Q_{изл.} = f_k 4,9\varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (24)$$

где ε – степень черноты;

T – оптимальная рассчитанная ранее в (12) температура, К.

Формула (24) показала, что при условиях, сведенных в табл. 2, подтвердится заявленная тепловая нагрузка излучателя 2,5 кВт=2149,61 ккал/ч.

Выводы

1. Набор рассчитанных параметров светлого излучателя с тепловой нагрузкой 2149,61 ккал/ч, будет обеспечивать оптимальную скорость вылета, полное сгорание газозвоздушной смеси и выдавать заявленное тепловое излучение при эксплуатации на биогазе с теплотой сгорания 5255,8 ккал/м³.

2. Исследованы особенности горения биогаза. Получен график, связывающий температуру горения от коэффициента избытка воздуха с оптимальными значениями, при которых будет

обеспечена удовлетворительная работа светлого излучателя.

3. Определены оптимальные значения расхода газа и размера форсунки, ко-

эффициента инжекции и основные габариты инжекционного смесителя, удельной тепловой нагрузки на керамическую плитку и ее площадь.

Список литературы

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика. М.: Колос, 1982. 148 с.
2. Барашкова Н. П. Сравнение инфракрасных газовых излучателей по конструктивным особенностям (светлые и темные) и рекомендации по применению // Вестник магистратуры. 2019. № 1-2(88). С. 53-55.
3. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнова О.С. Топливо и теория горения. Топливо. СПб., 2011. 84 с.
4. Богомолов А.И., Вигдорчик Д. Я., Маевский М. А. Газовые горелки инфракрасного излучения и их применение. М., 1967. 254 с.
5. Ермаков Н.О., Чуйкин С.В. Оптимизация работы светлого излучателя на бедной газовой смеси // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2021. № 09 (237). С. 48-51.
6. Ермаков Н.О. Конструктивные изменения в светлом излучателе для работы на биогазе // Молодой ученый. 2021. № 49 (391). С. 27-29.
7. Ермаков Н.О., Чуйкин С.В. Проблемы использования биогаза в светлых излучателях // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2020. № 3 (20). С. 24-29.
8. Зингер А. С., Алимбаев В. Г., Козлов А. В. Газовые инфракрасные излучатели // Инновационное развитие агропромышленного комплекса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. С. 53-60.
9. Золотаревский С. А. Газовое лучистое отопление – радикальное решение для повышения энергоэффективности и конкурентоспособности промышленных предприятий // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2018. № 5(106). С. 46-51.
10. Повышение коэффициента полезного действия лучистой системы отопления с применением в качестве отопительных приборов "светлых" газовых инфракрасных излучателей / Н. И. Куриленко, М. Н. Чекардовский, Л. Ю. Михайлова, А. Н. Ермолаев // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4(38). С. 73.

11. Кюблер Т. Инфракрасная отопительная техника больших помещений. СПб.: Печатный двор, 2004. 224 с.
12. Маслов В.А. Энергетический менеджмент. Мариуполь: ПГТУ, 2016. 95 с.
13. Наумова О. В., Жиганов В. А. Особенности применения инфракрасных излучателей в системах отопления // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. 2020. № 1. С. 101-105.
14. Пелипенко В.Н., Слесарев Д.Ю. Газовые горелки инфракрасного излучения. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. 118 с.
15. Тепловизионные исследования температурных полей светлых инфракрасных излучателей / Е. В. Птицына, Д. В. Птицын, А. Б. Кувалдин, А. П. Кислов // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век : материалы XII международной научно-практической интернет-конференции. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2016. С. 128-133.
16. Стрельников В. А., Севостьянов В. О. Типы инфракрасных излучателей применяемых для отопления производственных цехов предприятий // Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы VI Международной научно-практической конференции. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов: Амирит, 2017. С. 276-279.
17. Филинков Л. И. Особенности газолучистых систем отопления // Школа научно-технического творчества и концептуального проектирования: Международная научная школа для молодежи: в 2 т. Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный университет", 2011. С. 337-342.
18. Газолучистое отопление. Научно-практические проблемы и особенности проектирования / С.В. Чуйкин, Т.А. Змановский, А.Р. Бохан, К.А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2019. № 4 (17). С.29-33.
19. Шевлякова О. Е., Портнов В. В. Об эффективности использования систем газолучистого обогрева для отопления больших помещений // Сборник трудов победителей конкурса на лучшую научную работу студентов и аспирантов ВГТУ. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2007. С. 69-70.
20. Recknagel Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik / Recknagel, Sprenger, Schramek // R. Oldenburg, Verlag GmbH, Munchen, 1995. 67 с.

References

1. Baader V. Don E., Brennderfer M. *Biogaz: teoriya i praktika* [Biogas: theory and practice]. Moscow, 1982.
2. Barashkova N. P. [Comparison of infrared gas emitters by design features (light and dark) and recommendations for use]. *Vestnik magistratury*, 2019, no. 1-2(88), pp. 53-55.
3. Belousov V. N., Smorodin S. N., Smirnova O. S. *Toplivo i teoriya goreniya. Toplivo uchebnoe posobie* [Fuel and the theory of combustion. Fuel. St. Petersburg, 2011. 84 p.
4. Bogomolov A.I., Bogomolov A.I. *Gazovye gorelki infrakrasnogo izlucheniya i ih primeneniye* [Gas burners of infrared radiation and their application]. Moscow, 1967.
5. Ermakov N. O., Chuikin S. V. Optimizaciya raboty svetlogo izluchatelya na bednoj gazovoj smesi [Optimization of operation of a light emitter on a lean gas mixture]. *San-tehnika. Otoplenie. Kondicionirovanie. = Plumbing. Heating. Conditioning*, 2021, no.09 (237), pp. 48-51.
6. Ermakov N. O. Konstruktivnye izmeneniya v svetlom izluchatele dlya raboty na biogaze [Structural changes in the light emitter for biogas operation]. *Molodoj uchenyj = Young scientist*, 2021, no. 49 (391), pp. 27-29.
7. Ermakov N. O. Chuikin S. V. *Problemy ispol'zovaniya biogaza v svetlyh izluchatelyah* [Problems of using biogas in light emitters]. *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. = Urban Planning. Infrastructure. Communications*, 2020, no. 3, pp. 24-29.
8. Singer A. S., Singer A. S., Alimbayev V. G., Kozlov A.V. Gazovye infrakrasnye izluchateli [Gas infrared emitters]. *Innovative development of the agro-industrial complex for ensuring food security of the Russian Federation: A collection of materials of the International scientific and practical Conference*. Tyumen, 2020, pp. 53-60.
9. Zolotarevskij S. A. Gazovoe luchistoe otoplenie - radikal'noe reshenie dlya povysheniya energoeffektivnosti i konkurentosposobnosti promyshlennyyh predpriyatij [Gas radiant heating is a radical solution for improving energy efficiency and competitiveness of industrial enterprises]. *Avtomatizaciya i IT v energetike. = Automation and IT in the Energy Sector*. 2018, no. 5(106), pp. 46-51.
10. Kurilenko N. I., CHekardovskij M. N., Mihajlova L. YU., Ermolaev A. N. Povyshenie koefficienta poleznogo dejstviya luchistoj sistemy otopleniya s primeneniem v kachestve otopitel'nyh priborov "svetlyh" gazovyh infrakrasnyh izluchatelej [Increasing the efficiency of a radiant heating system with the use of "light" gas infrared emitters as heating devices]. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*, 2015, no. 4(38), p. 73.
11. Kubler T. *Infrakrasnaya otopitel'naya tekhnika bol'shih pomeshchenij*. [Infrared heating equipment for large rooms]. St.Petersburg, 2004, 224 p.

12. Maslov V.A. *Energeticheskij menedzhment* [Energy Management: a textbook]. Mariupol, 2016, p. 95.
13. Naumova O. V., ZHiganov V. A. Osobennosti primeneniya infrakrasnyh izluchatelej v sistemah otopeniya [Features of the use of infrared emitters in heating systems]. *Nauchno-tekhnicheskie problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazoenergосnabzheniya. = Scientific and technical problems of improvement and development of gas power supply systems*, 2020, no. 1, pp. 101-105.
14. Pelipenko V. N., Slesarev D. Y. *Gazovye gorelki infrakrasnogo izlucheniya: ucheb. posobie*. [Gas burners of infrared radiation: textbook. manual]. Togliatti, 2012, 118 p.
15. Pticyna E.V., Pticyn D. V., Kuvaldin A. B., Kislov A. P. Teplovizionnye issledovaniya temperaturnykh polej svetlykh infrakrasnyh izluchatelej [Thermal imaging studies of temperature fields of light infrared emitters]. *Energy and resource conservation - XXI Century : Materials of the XII International Scientific and Practical Internet Conference*, Orel, 2016, pp. 128-133.
16. Strel'nikov V. A., Sevost'yanov V. O. Tipy infrakrasnyh izluchatelej primenyaemykh dlya otopeniya proizvodstvennykh cekhov predpriyatij [Types of infrared emitters used for heating production workshops of enterprises]. *The current state and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: materials of the VI International Scientific and Practical Conference*. Saratov: Amirit, 2017, p. 276-279.
17. Filinkov L. I. Osobennosti gazoluchistykh sistem otopeniya [Features of gas-powered heating systems]. *School of Scientific and Technical Creativity and Conceptual Design: International Scientific School for Youth*. Astrakhan, 2011, pp. 337-342.
18. Chuikin S. V., Zmanovsky T. A., Bohan A. R., Grigorieva K. A. «Gazoluchistoe otopenie». Nauchno-prakticheskie problemy i osobennosti proektirovaniya [«Gas-radiant heating». Scientific and practical problems and design features]. *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. = Urban Planning. Infrastructure. Communications*. 2019, no. 4 (17), pp. 29-33.
19. Shevlyakova O. E., Portnov V. V. Ob effektivnosti ispol'zovaniya sistem gazoluchistogo obogreva dlya otopeniya bol'shih pomeshchenij [On the efficiency of using gas-radiant heating systems for heating large rooms]. *Collection of works of the winners of the competition for the best scientific work of students and postgraduates of VSTU*. Voronezh, Voronezh State Technical University Publ., 2007, pp. 69-70.
20. Recknagel, Sprenger, Schramek Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenburg, Verlag GmbH, Munchen, 1995. 67 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Ермаков Никита Олегович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: nikita1594@mail.ru

Чуйкин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: nikita1594@mail.ru

Nikita O. Ermakov, Post-Graduate Student, Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business Department, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: nikita1594@mail.ru

Sergei V. Chuikin, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: nikita1594@mail.ru