

EDN: ОНДП  
УДК 662.951.2**Ю. А. ГОЛОВАЧ, О. В. МИХАЙСКАЯ, Н. А. ВОЖОВА**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В ГОРЕЛКАХ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОГО ТИПА

**Аннотация.** В системах отопления производственных предприятий широко применяются газовые горелки инфракрасного излучения. Высокотемпературные излучатели с температурой поверхности от 600 до 1 200 °С обеспечивают обогрев помещений большого объёма и высоты, в которых другие системы отопления являются неэффективными. На основании литературного анализа выявлены преимущества использования инфракрасных горелок «светлого» типа. Ветроустойчивость горелок инфракрасного излучения на открытом воздухе может обеспечиваться установкой перед насадкой экрана, прозрачного для инфракрасного излучения. Исследованы пути увеличения КПД горелок инфракрасного излучения. На основании лабораторных исследований горелки ГИИ-1,85 «Звездочка» получена зависимость излучательной способности горелки от величины коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  и давления газа перед горелкой, оснащенной прозрачным экраном. Использование полученной зависимости позволит рассчитать изменение теоретического КПД горелок.

**Ключевые слова:** горелка инфракрасного излучения, «светлый» излучатель, коэффициент избытка воздуха, температура излучающей поверхности, прозрачный экран.

В последнее время все большую актуальность приобретает вопрос рационального использования природного газа для получения наибольшего экономического эффекта и повышения эффективности производственных процессов. Многолетняя практика показывает, что традиционные конвективные системы отопления не способны эффективно обогревать помещения периодического и кратковременного использования, помещения с частично используемой площадью, помещения значительной высоты, а также открытые и полукрытые площадки в силу присущих им недостатков.

Эффективное сжигание природного газа может обеспечиваться с использованием горелок инфракрасного излучения (ГИИ), которые работают по принципу лучистого теплообмена. Горелки инфракрасного излучения являются разновидностью инжекционных горелок, рассчитанных на работу с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha = 1,02...1,07$ .

Как показывают многочисленные исследования горелок инфракрасного излучения и практически осуществленных отопительных установок, в помещениях с использованием этих горелок при нормальных эксплуатационных режимах работы (давление газа, тепловая нагрузка, приток воздуха и отвод продуктов сгорания) обеспечивается довольно высокая полнота сжигания газа в этих горелках [1, 2]. Применение лучистых систем отопления обеспечивает снижение расхода тепловой энергии на 30...40 % по сравнению с системами конвективного отопления [3, 4].

Тепловое излучение от инфракрасных излучателей не поглощается воздухом, поэтому вся энергия без потерь достигает обогреваемых поверхностей. Биологическое действие инфракрасного радиационного отопления благоприятно для человека [5, 6].

Существующие горелки делятся на два основных типа: «тёмные», у которых температура накала не превышает 600 °С, и «светлые», у которых температура тела накала свыше 600 °С. У «тёмных» излучателей процесс горения происходит в полностью закрытом пространстве, а у «светлых» – непосредственно на излучающей поверхности, т. е. открыто и небезопасно. Поэтому к применению «светлых» излучателей предъявляются более жесткие требования по пожарным нормам. «Светлые» излучатели в среднем на 10...15 % экономичнее по потреблению газа за счет исключения потерь тепла с уходящими газами, потребляют меньше электроэнергии и создают меньше шума. Кроме того,

© Ю. А. Головач, О. В. Михайская, Н. А. Вожова, 2022



эксплуатационные затраты на энергоноситель, электроэнергию и техническое обслуживание для «светлых» инфракрасных излучателей до пяти раз меньше, чем для «тёмных».

Применение лучистых систем отопления сдерживается тем, что нормативная база для расчёта и проектирования систем отсутствует или не соответствует современному техническому уровню. Решение задач создания оптимальных условий микроклимата в рабочей зоне промышленных помещений и экономии газового топлива при использовании газовых инфракрасных излучателей неразрывно связано с необходимостью изучения и анализа процесса сложного теплопереноса в областях с многослойными ограждающими конструкциями, габаритным оборудованием и условий теплоотвода по всем границам области нагрева [7–9].

Из-за низких значений КПД высокотемпературных излучателей, составляющих менее 50 %, делаются попытки повышения их эффективности [10]. В связи с этим возникает необходимость в проведении экспериментальных исследований для определения оптимальных условий сжигания газа, что и обозначило **цель** исследования.

В условиях эксплуатации ГИИ на открытом воздухе требуется высокая их ветроустойчивость. Это может быть достигнуто установкой перед насадкой экрана, прозрачного для инфракрасного излучения. Однако экран, выполненный из кварцевого стекла, вследствие отражения части инфракрасного излучения, будет способствовать разогреву керамических плиток, и температура газовой смеси может повыситься настолько, что станет возможным проскок пламени. Стабильность горения по отношению к проскоку можно повысить увеличением коэффициента избытка воздуха смеси  $\alpha$ , однако при этом снижается интенсивность инфракрасного излучения. Экспериментальные исследования работы ГИИ при установке экрана, изолирующего продукты сгорания от окружающего воздуха, представляют интерес, так как именно открытое поверхностное горение ограничивает сферу их применения [10, 11].

Наиболее полно тепловой баланс ГИИ с перфорированной керамической насадкой рассмотрен А. К. Родиным. Автор отмечает, что получить расчетным путем все необходимые для проектирования систем и установок радиационного обогрева параметры и характеристики газовых ГИИ практически нельзя. Некоторые из них определяют экспериментальным путем.

Увеличение КПД ГИИ возможно посредством установки металлической сетки над керамическим излучателем, оребрения поверхности керамики, увеличения доли излучения стенками каналов, а также увеличения теплоотвода в стенки каналов [10].

Металлическая сетка способствует повышению ветроустойчивости и эффективности, так как становится вторичным дополнительным излучателем. Доля излучаемой энергии возрастает на 4...14 % в зависимости от удельной тепловой нагрузки. Сетка возвращает часть эмитированных энергетических частиц назад на активную поверхность, что приводит к возбуждению частиц атомов и к последующему увеличению эмиссии фотонов излучения.

При сжигании газовой смеси наблюдается неравномерность нагревания поверхности плоских керамических плиток. Появление зон с различной температурой нагрева объясняется различием в толщине перемычек между отверстиями и различием диаметров отверстий. Оребрение поверхности в виде пирамид, конусов или борозд увеличивает площадь радирующей поверхности, исключает или значительно уменьшает неравномерность нагрева керамики, повышает полноту сгорания и долю теплоты, передаваемой в виде излучения, по сравнению с плоским излучателем.

Исследованиями установлено, что у газовых ГИИ с керамическими насадками даже при расположении над ними металлических сеток интенсивность излучения в различных направлениях по полусфере от нормали к насадке неодинакова. По нормали к поверхности ( $\varphi = 90^\circ$ ) на близких расстояниях от излучающей насадки плотность излучения меньше, чем под углом 75 и 45°. При приближении к краям горелки плотность излучения снова снижается.

Суммарное излучение горелки в значительной мере зависит от доли тепла, излучаемого стенками каналов. Таким образом, для увеличения лучистого КПД необходим интенсивный нагрев пламенем не только поверхности керамических плиток, но и внутренней поверхности устья каналов.

Передача части теплоты из зоны реакции в стенку при наличии теплоотвода вызывает уменьшение температуры пламени от теоретической температуры до некоторой температуры горения. Чем ниже температура горения, тем ниже температура продуктов сгорания на выходе из зоны горения. Доля прямой отдачи тепла излучением тем выше, чем ниже температура газов, уходящих из зоны горения. Увеличение теплоотвода в стенки каналов лимитируется гашением пламени в узких каналах. Процесс гашения пламени определяется диаметром каналов, а также длиной и числом соседних каналов, теплопроводностью материала стенки и теплофизическими свойствами газовой смеси.

смеси. Температура стенки канала влияет на пределы устойчивости по отношению к проскоку пламени, а при прохождении пламени через перфорированные насадки существенную роль играет распределение температуры по длине огневого канала, которое зависит от теплопроводности материала насадки [10].

На основании лабораторных исследований горелки ГИИ-1,85 «Звездочка», которая относится к наиболее простым и распространенным горелкам инфракрасного излучения «светлого» типа, была получена зависимость излучательной способности горелки от величины коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  и давления газа перед горелкой  $P$ . Излучатель данной горелки был закрыт прозрачным экраном из термостойкого стекла с отверстием в центре для отвода продуктов сгорания. Согласно [10] прозрачный экран препятствует интенсивным конвективным теплопотерям, возникающим при обтекании окружающим воздухом излучающей поверхности горелок.

Опыты проводились при изменении величины коэффициента  $\alpha$  в пределах от 1,0 до 2,0 при фиксированном значении давления газа, которое изменялось ступенчато от 1 800 до 3 600 Па [10].

Исходные данные для расчета представлены в таблице.

**Таблица** – Температура излучающей поверхности при давлении газа перед горелкой  $P$  и коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$

Давление газа перед горелкой $P$ , Па	Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	Температура излучающей поверхности $t$ , °С	Давление газа перед горелкой $P$ , Па	Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	Температура излучающей поверхности $t$ , °С
1 800	1,0	708	3 000	1,0	811
	1,2	844		1,2	895
	1,4	845		1,4	913
	1,6	841		1,6	881
	1,8	840		1,8	870
	2,0	838		2,0	868
2 400	1,0	760	3 600	1,0	827
	1,2	870		1,2	915
	1,4	879		1,4	927
	1,6	858		1,6	899
	1,8	851		1,8	886
	2,0	849		2,0	885

Зависимость излучательной способности горелок от коэффициента избытка воздуха и давления газа перед горелкой можно описать уравнением

$$t = -1,9999 \cdot 10^3 + 5,6858 \cdot 10^3 \cdot \alpha - 0,17333 \cdot P - 3,5883 \cdot 10^3 \cdot \alpha^2 + 8,7962 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 7,3756 \cdot 10^2 \cdot \alpha^3 - 1,1574 \cdot 10^{-8} \cdot P^3. \quad (1)$$

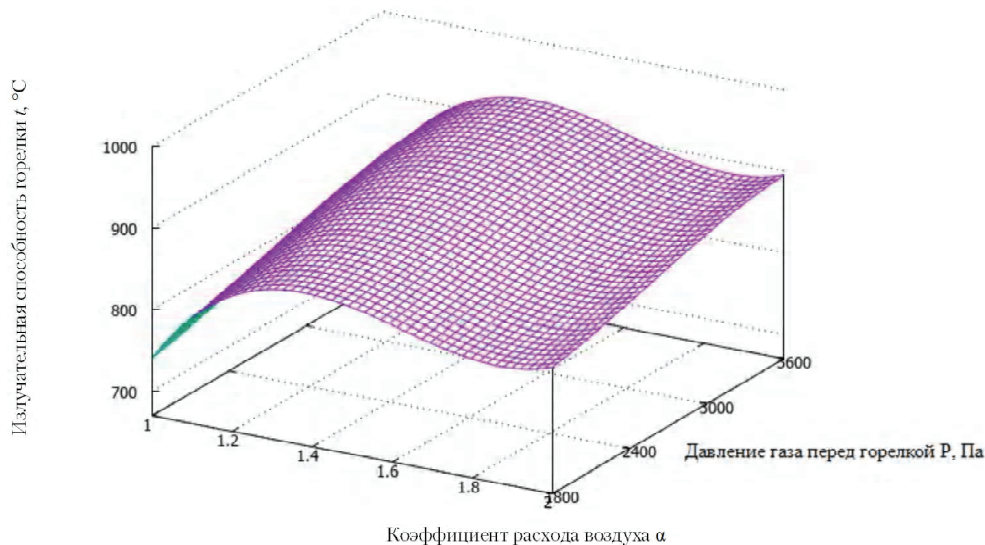
Проверка адекватности уравнения регрессии производилась по значению критерия Фишера, определяемого как отношение общей дисперсии к остаточной, при 10%-ном уровне значимости.

График зависимости излучательной способности горелки от коэффициента избытка воздуха и давления газа перед горелкой приведен на рисунке.

Из графика видно, что с увеличением коэффициента  $\alpha$  температура излучающей поверхности растет и достигает максимума 927 °С при  $\alpha = 1,4$ . Затем она снижается при всех исследованных величинах давления газа. С увеличением давления газа, следовательно, расхода газа и мощности горелки, температура излучающей поверхности растет от 708 °С при  $P = 1\,800$  Па до 927 °С при  $P = 3\,600$  Па. Использование данных эксперимента и полученной зависимости позволит рассчитать изменение теоретического КПД ГИИ.

## ВЫВОДЫ

Анализ литературных источников показывает перспективность применения горелок инфракрасного излучения светлого типа в системах отопления. Рассмотрены возможности увеличения КПД ГИИ. На основании зависимости излучательной способности горелки, оснащенной прозрачным экраном, от коэффициента избытка воздуха и давления газа перед горелкой можно определять излучательную способность горелки при значениях коэффициента избытка воздуха и



**Рисунок** – График зависимости излучательной способности горелки от коэффициента избытка воздуха и давления газа перед горелкой.

давления газа перед горелкой, для которых нет данных по результатам эксперимента. Дальнейшие исследования будут направлены на оценку энергоэффективности и экологических показателей ГИИ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов, А. И. Газовые горелки инфракрасного излучения и их применение / А. И. Богомолов, Д. Я. Вигдорчик, М. А. Маевский. – Москва : Стройиздат, 1967. – 254 с. – Текст : непосредственный.
2. Родин, А. К. Применение излучающих горелок для отопления / А. К. Родин. – Ленинград : Недра. Ленинградское отделение, 1976. – 117 с. – Текст : непосредственный.
3. Tian, Z. Energy performance optimization of radiantslabcool in guessing building simulation and field measurements / Z. Tian, J. A. Love. – Текст : электронный // Energy and Buildings. – 2009. – Volume 41, Issue 3. – P. 320–330. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.10.002> (дата обращения: 07.10.2022).
4. Zhao, K. On-site measured performance of a radiant floor cooling/heating system in Xi'an Xianyang International Airport / K. Zhao, X-H. Liu, Y. Jiang. – Текст : электронный // Solar Energy. – 2014. – Volume 108. – P. 274–286. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.07.012> (дата обращения: 07.10.2022).
5. Северинец, Г. Н. Применение газовых горелок инфракрасного излучения для сушки и нагрева / Г. Н. Северинец. – Ленинград : Недра. Ленинградское отделение, 1970. – 128 с. – Текст : непосредственный.
6. Борхерт, Р. Техника инфракрасного нагрева / Р. Борхерт, В. Юбиц ; [перевод с немецкого под редакцией И. Б. Левитина]. – Москва : Госэнергоиздат, 1963. – 278 с. – Текст : непосредственный.
7. Influence of radiation on predictive accuracy in numerical simulations of the thermal environment in industrial buildings with buoyancy-driven natural ventilation / X. Meng, Y. Wang, T. Liu [et al.]. – Текст : электронный // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Volume 96, issue 3. – P. 473–480. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.105> (дата обращения: 07.10.2022).
8. Rohdin, P. Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements / P. Rohdin, B. Moshfegh. – Текст : электронный // Building and Environment. – 2011. – Volume 46, Issue 11. – P. 2365–2374. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.019> (дата обращения: 08.10.2022).
9. Chow, K. On the influence of boundary conditions and thermal radiation on predictive accuracy in numerical simulations of indoor ventilation / K. Chow, A. E. Holdo. – Текст : электронный // Building and Environment. – 2010. – Volume 45, Issue 2. P. 437–444. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.021> (дата обращения: 08.10.2022).
10. Пелипенко, В. Н. Газовые горелки инфракрасного излучения : учебное пособие / В. Н. Пелипенко, Д. Ю. Слесарев. – Тольятти : Издательство ТГУ, 2012. – 118 с. – Текст : непосредственный.
11. ГОСТ 25696-83\*. Горелки газовые инфракрасного излучения. Общие технические требования и правила приёмки = Infrared gas burners. General technical requirements and acceptance rules : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 29 марта 1983 г. № 11482-ст : Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 августа 2017 г. № 914-ст : введен впервые : дата введения 1984-07-01 / разработан

Минжилкомхозом РСФСР и Мингазпромом СССР – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 4 с. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/21112/> (дата обращения: 08.10.2022). – Текст : электронный.

Получена 18.10.2022

Принята 28.10.2022

Ю. О. ГОЛОВАЧ, О. В. МИХАЙСЬКА, Н. А. ВОЖОВА  
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ГАЗОВОГО ПАЛИВА В  
ПАЛЬНИКАХ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ СВІТЛОГО ТИПУ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У системах опалення виробничих підприємств широко використовуються газові пальники інфрачервоного випромінювання. Високотемпературні випромінювачі з температурою поверхні від 600 до 1 200 °С забезпечують обігрів приміщень великого об'єму і висоти, в яких інші системи опалення є неефективними. Вітростійкість пальників інфрачервоного випромінювання на відкритому повітрі може забезпечуватися установкою перед насадкою екрана, прозорого для інфрачервоного випромінювання. Досліджено шляхи збільшення ККД горілок інфрачервоного випромінювання. На підставі лабораторних досліджень пальника ПІВ-1,85 «Зірочка» отримана залежність випромінювальної здатності пальника від величини коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  і тиску газу перед пальником. Використання отриманої залежності дозволить розрахувати зміну теоретичного ККД пальників.

**Ключові слова:** пальник інфрачервоного випромінювання, «світлий» випромінювач, коефіцієнт надлишку повітря, температура поверхні, що випромінює, прозорий екран.

YULIA GOLOVACH, OKSANA MIKHAYSKAYA, NATALIA VOZHOVA  
INCREASING OF THE EFFICIENCY OF GAS FUEL COMBUSTION IN LIGHT  
TYPE INFRARED BURNERS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** At heating systems of industrial enterprises, gas burners of infrared radiation are widely used. High-temperature radiators with a surface temperature of 600 to 1 200 °C provide heating of large volumes and heights, in which other heating systems are ineffective. Wind resistance of infrared burners in the open air can be ensured by installing a screen transparent to infrared radiation in front of the nozzle. The ways of increasing the efficiency of infrared burners have been studied. Based on laboratory studies of the burner GII-1.85 «Star», the dependence of the emissivity of the burner on the value of the excess air coefficient  $\alpha$  and gas pressure in front of the burner equipped with a transparent screen was obtained. Using the obtained dependence will allow you to calculate the change in the theoretical efficiency of the burners.

**Key words:** infrared burner, «bright» emitter, excess air coefficient, emitting surface temperature, transparent screen.

**Головач Юлия Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогасоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения, рациональное использование газообразного топлива.

**Михайская Оксана Валентиновна** – ассистент кафедры теплотехники, теплогасоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплоснабжения и газоснабжения.

**Вожова Наталья Анатольевна** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения, оперативное управление системами газоснабжения.

**Головач Юлія Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогасопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність розподільних мереж газопостачання, раціональне використання газоподібного палива.

**Михайська Оксана Валентинівна** – асистент кафедри теплотехніки, теплогасопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплопостачання та газопостачання.

**Вожова Наталія Анатоліївна** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність розподільних мереж газопостачання, оперативне керування системами газопостачання.

**Golovach Yulia** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability of gas distribution networks, rational use of gaseous fuel.

**Mikhayskaya Oksana** – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving at heat supply and gas supply systems.

**Vozhova Natalya** – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability of gas distribution networks, operating control of gas supply systems.