

**INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS
UPON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE PRECIPITATION
IN TVER DURING 2016–2022 YEARS***F.V. Kachanovsky**Tver State Technical University (Tver)*

Abstract. Analysis had made of the precipitation's electrical conductivity (atmospheric precipitation had fallen in Tver in 2016–2022 years) and factors of the influence on it. Time series models of the electrical conductivity were examined. Cubic model has considered as adequate.

Keywords: conductivity, acidity, acid rain, precipitation, model, time series, trend, cycle component, seasonal component, correlation.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KACHANOVSKY Felix Vjacheslavovich – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: felix.kachanovsky@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kachanovsky F.V. Influence of meteorological conditions upon the electrical conductivity of the precipitation in Tver during 2016–2022 years // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 4 (20), pp. 50–58.

УДК 44.31.03:45.43.00:53.07.00**ПРОВЕРКА НА СООТВЕТСТВИЕ ИСТИНЕ
ЗАКОНОВ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ.
ЧАСТЬ I. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПО ЗАКОНАМ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ***А.Н. Макаров**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Макаров А.Н., 2023

Аннотация. Приведены примеры расчетов теплообмена газовых объемов с поверхностями нагрева по законам теплового излучения цилиндрических газовых объемов. Указано, что примеры расчетов подтверждают истинность пяти законов теплового излучения газовых объемов электрических дуг и факелов. Исследователям и читателям предложено на компьютере с помощью программы «Компас» проверить истинность законов теплового излучения газовых объемов.

Ключевые слова: тепловое излучение, законы, газовые объемы, факел, электрическая дуга, печи топки, камеры сгорания.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-4-58-66***ВВЕДЕНИЕ***

На протяжении всего XX века, вплоть до открытия автором законов теплового излучения газовых объемов отсутствовала информация о следующих процессах, происходящих в факельных топках паровых котлов, печах, камерах сгорания (КС) газотурбинных установок (ГТУ), газотурбинных двигателей (ГТД), жидкостных реактивных двигателей (ЖРД) [1–12]:

- 1) распределении мощности излучения по высоте и объему факела в топке;
- 2) способах выравнивания тепловых потоков по периметру и по высоте топок;
- 3) влиянии горизонтальной части факела на прогорание узлов горелок;
- 4) причинах неравномерности отложений внутри труб по периметру и высоте топок;
- 5) распределении мощности факела по высоте топок;
- 6) распределении потоков излучений по высоте, ширине, длине нагреваемых изделий;
- 7) способах выравнивания тепловых потоков по поверхностям нагрева;
- 8) влиянии параметров факела – длины, угла наклона к поверхности нагрева, угла раскрытия, расположения изотерм – на скорость и равномерность нагрева изделий в печах;
- 9) воздействии на параметры факела для повышения производительности печей;
- 10) величине и распределении тепловых потоков излучения факела по поверхности нагрева КС ГТУ, ГТД, ЖРД;
- 11) местоположении в КС максимальных тепловых потоков излучения факела для организации эффективного охлаждения данной поверхности;
- 12) способах организации максимального срока службы пламенной трубы и о влиянии на срок службы распределения мощности по длине и ширине факела;
- 13) распределении мощности излучения факела по объему КС ГТУ, ГТД, ЖРД.

В настоящее время информацию о величине тепловых потоков излучения факела на поверхности КС летательных аппаратов космического и оборонного значения получают экспериментальным путем.

Ни один из существующих в России и промышленно развитых странах численных и других методов расчета не давал полного представления об указанных процессах. Данные о локальном теплообмене получали многолетними трудоемкими опытно-экспериментальными исследованиями теплообмена в факельных печах, топках, КС ГТУ, ГТД, ЖРД.

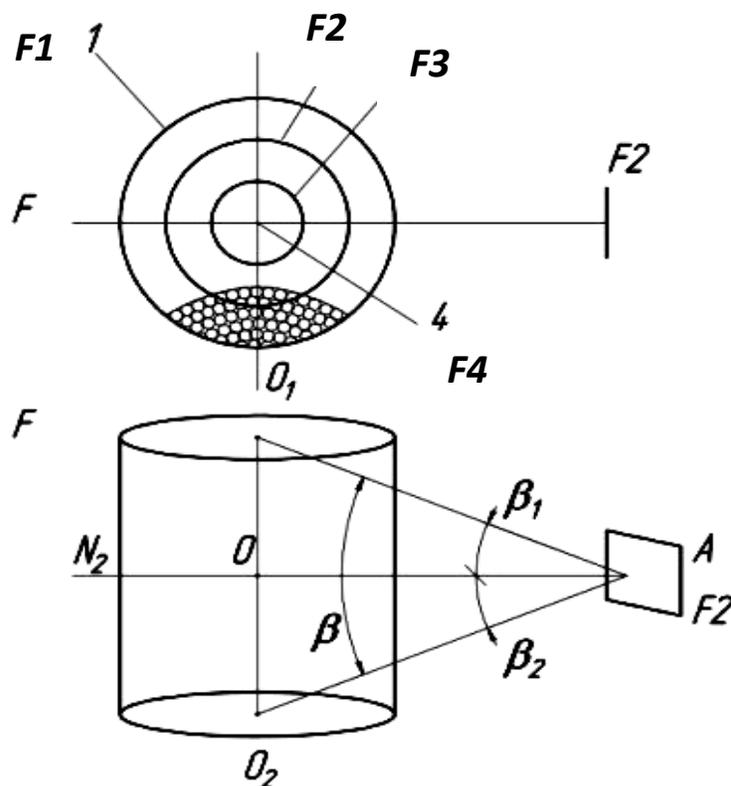
В конце XX – начале XXI века, в 1996–2001 годах автором были открыты законы теплового излучения газовых объемов электрических дуг, факелов. По положительным результатам экспертизы заявки в НИТУ МИСИС, ЦНИИЧермет, ИМЕТ РАН в 2011 году Международной академией авторов научных открытий и изобретений зарегистрировано научное открытие «Закономерная связь между параметрами излучения изотермических коаксиальных цилиндрических газовых слоев, образующихся при факельном сжигании топлива и горении электрической дуги в парах металлов при атмосферном давлении». В дипломе на научное открытие с целью соблюдения многовековых научных традиций и авторского права законы излучения газовых объемов электрических дуг, факелов названы законами Макарова [2, 4–6].

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГ И ФАКЕЛОВ НА РАСЧЕТНУЮ ПЛОЩАДКУ**

Рассмотрим излучение части факела (рисунок), а именно одного из его цилиндрических газовых объемов. Цилиндрический изотермический газовый объем F излучает на расчетную площадку F_2 . Размер площадки $0,5 \times 0,5$ м.

Диаметр цилиндрического объема $D = 3$ м, высота $h = 3$ м. Допустим, в газовом объеме факела одновременно излучают $15 \cdot 10^{25}$ атомов, равномерно заполняющих объем. Атомы, заполняющие объем, моделируются шарами (рисунок). Перпендикуляр N_2 в центр A площадки F_2 проходит через центр симметрии объема точку O и делит ось O_1O_2 пополам между верхними и нижними основаниями цилиндрического объема. Расстояние $AO = r = 3$ м. Мощность, выделяющаяся в цилиндрическом газовом объеме факела P_F при сгорании топлива, P_F равна 42 МВт, коэффициент поглощения газовой среды $k = 0,162$ [2].

Разделим расчётный цилиндрический газовый объем на три равных по объему цилиндрических тела (рисунок, вид сверху; радиусы даны условно, без отражения реального соотношения). В каждом из коаксиальных изотермических цилиндрических газовых объемов F_1, F_2, F_3 расположено $15 \cdot 10^{25} / 3 = 5 \cdot 10^{25}$ излучающих кванты атомов и выделяется мощность $42 / 3 = 14$ МВт. Ось цилиндрических газовых объемов F_1-F_3 O_1O_2 представляет собой цилиндрический газовый объем F_4 бесконечно малого диаметра.



Излучение цилиндрического газового объема
на расчетную площадку: β – угол, под которым цилиндрический газовый объем F_4
излучает в центр A расчетной площадки F_2 ; β_1 – угол между нормалью в точке A
расчетной площадки F_2 и направлением AO_1 ; β_2 – угол между нормалью в точке A
расчетной площадки F_2 и лучом AO_2

Согласно первому закону теплового излучения газовых объемов [1], плотность потока теплового излучения, падающего от цилиндрического газового объема на расчетную площадку q_{FF2} , прямо пропорциональна мощности P_F и локальному угловому коэффициенту излучения газового объема на расчетную площадку q_{FF2} и обратно пропорциональна коэффициенту поглощения газовой среды k , средней длине пути лучей l от излучающих атомов газового объема и площади расчетной площадки $F2$:

$$q_{FF2} = \frac{\varphi_{FF2} P_F}{F2 \cdot e^{kl}} \quad (1)$$

В выражении (1) сложность представляет расчет углового коэффициента φ_{FF2} и средней длины пути l лучей. В зональном и численном методах газовые объемы факелов разбивают на 1,5 млн ячеек [1, 2]. Угловым коэффициентом излучения j -го параллелепипеда, заполненного газом, на площадку dF находится с помощью трехкратного интегрирования в сферических координатах:

$$\varphi_{jdF} = \int \int \int_{a_j b_j h_j} \frac{\cos \alpha_i \cos \beta_i}{2\pi r_j^2} da d\beta dr, \quad (2)$$

где α_i – угол между перпендикуляром к грани параллелепипеда и кратчайшей прямой r_j до площадки dF ; β_j – угол между перпендикуляром к площадке dF и прямой r_j .

Для расчета средней длины пути лучей от ячеек до расчетной площадки необходимо решение трехкратного интегрального уравнения, аналогичного (2). Указанные законы теплового излучения позволяют рассчитать теплообмен в электродуговых сталеплавильных и факельных печах, топках, КС законы теплового излучения коаксиальных цилиндрических газовых объемов [13–16].

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИСТИННОСТИ ТРЕТЬЕГО ЗАКОНА ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ

Согласно третьему закону Макарова, средняя длина пути лучей l_1, l_2, l_3 от множества излучающих атомов каждого из n изохорных изотермических коаксиальных цилиндрических газовых объемов до расчетной площадки равна среднеарифметическому расстоянию l от оси симметрии объемов до расчетной площадки [16]:

$$l_1 = l_2 = l_3 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \right) = l \quad (3)$$

Для цилиндрических газовых объемов средняя длина пути лучей l_1, l_2, l_3 от $5 \cdot 10^{25}$ атомов каждого из цилиндрических объемов до расчетной площадки $F2$ равна среднеарифметическому расстоянию от $5 \cdot 10^{25}$ атомов каждого из объемов до расчетной площадки $F2$ и она же равна среднеарифметическому расстоянию l от оси симметрии O_1O_2 до расчетной площадки $F2$:

$$l_1 = l_2 = l_3 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{5 \cdot 10^{25}} l_i}{5 \cdot 10^{25}} \right) = l = 3,12 \text{ м.}$$

Любой исследователь и читатель может проверить истинность третьего закона теплового излучения цилиндрических газовых объемов, вписав в каждый из цилиндрических газовых объемов $F1-F3$, например, по 100 или более сфер и определив с помощью простой программы «Компас» на компьютере среднearифметическое расстояние от центров сфер каждого из трех цилиндрических газовых объемов до расчетной площадки $F2$ (см. рисунок): оно равно во всех трех случаях 3,12 м.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИСТИННОСТИ ВТОРОГО, ЧЕТВЕРТОГО ЗАКОНОВ КВАНТОВОГО ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ

Согласно второму и четвертому законам Макарова, локальные угловые коэффициенты, плотности потоков излучений коаксиальных цилиндрических газовых объемов $F, F1-F4$ на расчетную площадку $F2$ равны [16]

$$\begin{aligned}\varphi_{F1F2} &= \varphi_{F2F2} = \varphi_{F3F2} = \varphi_{F4F2}; \\ q_{F1F2} &= q_{F2F2} = q_{F3F2} = q_{F4F2}.\end{aligned}\quad (4)$$

Результат (см. выражение (4)) получим, выполняя расчеты по формуле (3) и принимая, что в коаксиальном цилиндрическом газовом объеме малого диаметра расположено $5 \cdot 10^{25}$ атомов.

Рассчитаем локальные угловые коэффициенты излучения коаксиальных цилиндрических газовых объемов $F1-F3$ $\varphi_{F1F2}-\varphi_{F3F2}$ на расчетную площадку $F2$ (см. рисунок) при исходных расчетных, принятых в примере (см. рисунок), а также локальные угловые коэффициенты излучения цилиндрического газового объема $F4$ φ_{F4F2} бесконечно малого диаметра на расчетную площадку $F2$ по выведенным аналитическим путем универсальным расчетным формулам [2]:

$$\begin{aligned}\varphi_{F1F2} = \varphi_{F2F2} = \varphi_{F3F2} = \varphi_{F4F2} &= \frac{F_2}{2 \cdot \pi^2 \cdot r \cdot h} [\beta + \sin \beta \cos(\beta_1 - \beta_2)] = \\ &= \frac{0,25}{2 \cdot 3,14^2 \cdot 3 \cdot 3} \left[\frac{52}{57} + \sin 52^\circ \cos 0^\circ \right] = 0,00215\end{aligned}$$

Любой исследователь и инженер может проверить истинность второго закона теплового излучения цилиндрических газовых объемов, используя формулы для расчета угловых коэффициентов излучения полых цилиндров на расчетную площадку, изложенные в справочниках А.Г. Блоха [1], Р. Зигеля, Дж. Хауэлла [9], и получить по этим формулам для цилиндрических газовых объемов $F1-F4$ результат:

$$\varphi_{F1F2} = \varphi_{F2F2} = \varphi_{F3F2} = \varphi_{F4F2} = 0,00215$$

Следовательно, угловые коэффициенты излучения коаксиальных цилиндрических газовых объемов на расчетную площадку равны.

Рассчитаем плотность потоков теплового излучения, падающих от цилиндрических газовых объемов $F1-F4$, на расчетную площадку $F2$ по первому закону (выражению (1)):

$$\begin{aligned}q_{F1F2} = q_{F2F2} = q_{F3F2} = q_{F4F2} &= \frac{\varphi_{F1F2} \cdot P_{F1}}{F2 \cdot e^{kl}} = \frac{\varphi_{F2F2} \cdot P_{F2}}{F2 \cdot e^{kl}} = \\ &= \frac{\varphi_{F3F3} \cdot P_{F2}}{F2 \cdot e^{kl}} = \frac{\varphi_{F4F3} \cdot P_{F2}}{F2 \cdot e^{kl}} = \frac{0,00215 \cdot 14 \cdot 10^3}{0,25 \cdot e^{0,162 \cdot 3 \cdot 12}} = 73,4 \text{ кВт/м}^2.\end{aligned}$$

Поскольку для цилиндрических газовых объемов $F1-F4$ равны их средние длины пути лучей от излучающих атомов до расчетной площадки $F2$, коэффициенты поглощения газовой среды, выделяющиеся в объемах $F1-F4$ мощности излучения, локальные угловые коэффициенты излучения объемов $F1-F4$ на площадку $F2$, следовательно, равны и плотности потоков теплового излучения объемов $F1-F4$ на расчетную площадку $F2$.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ИСТИННОСТИ ПЯТОГО ЗАКОНА ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ

Согласно пятому закону, плотность потока излучения центрального цилиндрического газового объема малого диаметра на расчетную площадку q_{F4F2} равна сумме плотностей потоков излучений всех коаксиальных цилиндрических газовых объемов на расчетную площадку при мощности излучения, выделяющейся в объеме малого диаметра, равной сумме мощностей излучений, выделяющихся во всех коаксиальных цилиндрических газовых объемах, излучающих на расчетную площадку [16]:

$$q_{F4F2} = \sum_{i=1}^3 q_{FiF2}.$$

Действительно, подставив в формулу (1) параметры излучающих коаксиальных цилиндрических газовых объемов $F1-F4$ и рассчитав их плотности потоков излучений на расчетную площадку, получим

$$q_{F1F2} = q_{F2F2} = q_{F3F2} = 73,4 + 73,4 + 73,4 + \frac{0,00215 \cdot 42 \cdot 10^3}{0,25 \cdot e^{0,162 \cdot 3,12}} = 220,2 \text{ кВт/м}^2.$$

Из пятого закона теплового излучения газовых объемов следует, что тепловое излучение цилиндрического газового объема большого диаметра можно в расчетах заменить излучением цилиндрического газового объема малого диаметра. Физическая природа этого уникального явления, данного закона следующая: допустим, радиальными усилиями, направленными по всей высоте цилиндрического газового объема большого диаметра от периферии объема к центру (к оси симметрии), сконцентрируем все $15 \cdot 10^{25}$ атомов, составляющих большой газовый объем, на оси симметрии объема. В этом случае мощность излучения цилиндрического газового объема сосредоточится в цилиндрическом объеме малого диаметра и его излучение будет эквивалентно излучению всех атомов цилиндрического газового объема большого диаметра. При расчете плотности теплового излучения оси симметрии газового объема на расчетную площадку принимается, что коэффициент поглощения газовой среды, через которую проходит тепловое излучение оси симметрии газового объема, равен коэффициенту поглощения газовой среды цилиндрического газового объема большого диаметра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из законов теплового излучения коаксиальных цилиндрических газовых объемов следует, что излучение любого цилиндрического газового объема большой мощности и большого диаметра может быть эквивалентно заменено равным по мощности излучением коаксиального цилиндрического газового объема малого диаметра. Законы теплового излучения цилиндрических газовых объемов освобождают исследователей от интегрирования по объему при расчетах теплообмена излучением и позволяют определять параметры излучения путем однократного интегрирования тригонометрических зависи-

мостей (см. формулу (2)) коаксиального цилиндрического объема малого диаметра. В [2] приведены результаты однократного интегрирования по высоте для выражения (2) при любом пространственном положении цилиндрического газового объема малого диаметра и поверхности нагрева F_2 .

Открытые законы теплового излучения цилиндрических газовых объемов являются основой разработанной автором теории теплообмена в электродуговых сталеплавильных и факельных печах, топках, КС. По пропорции и в зависимости от температур и объемов зон факела определяются мощности излучения цилиндрических газовых объемов. Далее по законам-формулам (1), (3), а также по формулам для расчета угловых коэффициентов излучения цилиндрических газовых объемов при любом произвольном пространственном расположении электрической дуги, факела и расчетной площадки, выведенным и изложенным в [2], находятся потоки теплового излучения на поверхности нагрева в электродуговых сталеплавильных и факельных печах, топках, КС.

Законы теплового излучения газовых объемов аналогично фундаментальным законам физики обладают мультидисциплинарностью, компактностью, точностью описания физического явления. Например, фундаментальный закон физики – закон Ома, являющийся одним из трех законов, на которых построены расчеты всех устройств электрификации, – характеризует соотношение между током I , протекающим в проводнике, напряжением U , приложенным к проводнику, и сопротивлением проводника R :

$$I = \frac{U}{R}.$$

Аналогично закону Ома закон теплового излучения газовых объемов (см. формулу (1)) описывает зависимость плотности потока теплового излучения q газового объема от углового коэффициента излучения φ , мощности излучения P , средней длины пути лучей l , коэффициента поглощения k газового объема. Для расчета параметров теплового излучения газовых объемов (см. (1)) φ , P , l автором выведены аналитические выражения, формулы.

Впервые в мировой научной практике в хаосе теплового излучения септиллионов атомов факела, электрической дуги была найдена гармония, порядок, определяемые законами теплового излучения ионизированных и неионизированных газовых объемов, или законами Макарова. Использование предложенных законов теплового излучения газовых объемов позволяет рассчитать рациональные тепловые режимы работы электродуговых сталеплавильных и факельных печей, топков, КС ГТУ, ГТД, ЖРД, увеличить ресурс их работы, снизить на миллион киловатт-час расход электроэнергии в электродуговых сталеплавильных печах и на миллион тонн расход топлива в факельных печах, топках, КС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров А.Н. Закономерная связь между параметрами излучения изотермических коаксиальных цилиндрических газовых слоев, образующихся апм атмосферном давлении (закономерности Макарова): диплом на научное открытие № 417, выдан 12.09.2011 Международной академией авторов научных открытий и изобретений, Москва.
2. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань. 2014. 384 с.

3. Блох А.Г. Тепловое излучение в котельных установках. Л.: Энергия. 1967. 326 с.
4. Makarov A.N. Radiation from Large Gas Volumes and Heat Exchange in Steam Boiler Furnaces // *Power Technology and Engineering*. 2019. № 3. P. 196–201.
5. Makarov A.N. Flare Temperature and Nitrogen Oxide Emission Reduction and Heat Transfer in the TGMP-314I Steam Boiler Firebox // *Power Technology and Engineering*. 2016. № 2. P. 200–203.
6. Makarov A.N., Okuneva V.V., Galicheva M.K. Influence of the Length of a Torch Tongue on Heat Flow in a Burner Device // *Power Technology and Engineering*. 2017. № 4. P. 445–450.
7. Мастрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей: учебник. М.: Металлургия. 1972. 368 с.
8. Адрианов В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена. М.: Энергия. 1972. 463 с.
9. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир. 1975. 934 с.
10. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. Л.: Энергия. 1971. 294 с.
11. Глинков М.А., Глинков Г.М. Общая теория печей. М.: Металлургия. 1978. 264 с.
12. Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Тепломассоперенос. М.: Металлургия. 1995. 400 с.
13. Makarov A.N. Laws of Heat Radiation from Sunrtgees and Gas Volumes // *Word Journal of Engineering and Technology*. 2015. № 3. P. 260–270.
14. Makarov A.N. Calculations of Heat Transfer in Torch Furnaces by Gas Volume Radiation Laws // *Word Journal of Engineering and Technology*. 2016. № 4. P. 488–503.
15. Makarov A.N. Fundamental Laws of Physics and Calculation of Heat Transfer in Combustion Chambers of Gas-Turbine Plants // *Word Journal of Engineering and Technology*. 2017. № 5. P. 358–375.
16. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых сталеплавильных и факельных нагревательных печах, топках паровых котлов, камерах сгорания газотурбинных установках. М. – Вологда: Инфра-Инженерия. 2022. 452 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МАКАРОВ Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Макаров А.Н. Проверка на соответствие истине законов теплового излучения газовых объемов. Часть I. Примеры расчетов по законам теплового излучения цилиндрических газовых объемов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 4 (20). С. 58–66.

**VERIFICATION FOR THE CORRESPONDENCE
TO THE TRUTH OF THE LAWS
OF THERMAL RADIATION
OF GAS VOLUMES. PART I. EXAMPLES OF CALCULATIONS
ACCORDING TO THE LAWS OF QUANTUM THERMAL RADIATION
OF CYLINDRICAL GAS VOLUMES**

A.N. Makarov

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. Examples of calculations of heat exchange of gas volumes with heating surfaces according to the laws of thermal radiation of cylindrical gas volumes are given. Examples of calculations confirm the validity of the five laws of thermal radiation of gaseous volumes of electric arcs and torches. Researchers and readers are invited to check the truth of the laws of quantum thermal radiation of gas volumes on a computer using the Compass program.

Keywords: thermal radiation, laws, gas volumes, torch, electric arc, furnaces, combustion chambers.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

MAKAROV Anatoly Nikolaevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Makarov A.N. Verification for the correspondence to the truth of the laws of thermal radiation of gas volumes. Part I. Examples of calculations according to the laws of thermal radiation of cylindrical gas volumes // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 4 (20), pp. 58–66.

УДК 44.31.03:45.43.00:53.07.00

**ПРОВЕРКА НА СООТВЕТСВИЕ ИСТИНЕ
ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ.
ЧАСТЬ II. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПО ЗАКОНАМ
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
И СФЕРИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ**

А.Н. Макаров

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Макаров А.Н., 2023

Аннотация. Приведены примеры расчетов теплообмена газовых объемов электрических дуг и факелов с поверхностями нагрева по законам теплового излучения цилиндрических и сферических газовых объемов. Отмечено, что примеры расчетов