



21. Бузиков Ш. В. Исследование эффективности применения уплотняющих машин при формировании дорожных покрытий с учетом напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев / Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. –2022. – № 3 (41). – С. 22–27.

© Д. Ю. Небратенко

**Ссылка для цитирования:**

Небратенко Д. Ю. Сравнение низкотемпературных показателей дорожных вяжущих методом ABCD // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 3 (45). С. 15–22.

УДК 697.245.37

DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-22-27

**К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЛУЧИСТЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ  
ОТ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ**

**Е. С. Аралов, В. Н. Мелькумов, Б. М. Кумицкий, С. В. Чуйкин**

**Аралов Егор Сергеевич**, аспирант, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru;

**Мелькумов Виктор Нарбенович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru;

**Кумицкий Борис Михайлович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: boris-kum@mail.ru;

**Чуйкин Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru

Экологическая составляющая определения плотности лучистых тепловых потоков от линейных излучателей имеет первостепенное значение особенно при рассмотрении вопросов безопасности и здоровья людей, находящихся в рабочей зоне производственного помещения. Лучистое тепло, если его не контролировать должным образом, может представлять несколько рисков, поэтому разработка надежного и точного метода расчета лучистого теплового потока в таких ситуациях необходима для обеспечения безопасной рабочей среды. Основные проблемы, связанные с определением плотности данного вида потоков от излучателей линейной длины, связаны со сложностями лучистого теплообмена, свойствами излучателя и конкретными условиями окружающей среды. Ставится задача разработать надежный и воспроизводимый метод расчета плотности теплового потока от таких излучателей при различных условиях. При создании модели были сделаны некоторые допущения, в том числе линейность излучателя, однородность среды, через которую излучается тепло, и применение закона Стефана – Больцмана в качестве основного руководящего принципа. Радиационные свойства используемых материалов также предполагались постоянными в диапазоне рабочих температур.

**Ключевые слова:** лучистое отопление, тепловое излучение, инфракрасная радиометрия, фотоны, линейный источник.

**TO THE METHOD OF DETERMINING THE DENSITY OF RADIANT HEAT FLUX  
FROM LINEAR EXTENDERS**

**Ye. S. Aralov, V. N. Melkumov, B. M. Kumitskiy, S. V. Chuykin**

**Aralov Yegor Sergeevich**, Postgraduate Student, Senior Lecturer, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru;

**Melkumov Viktor Narbenovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru;

**Kumitskiy Boris Mikhaylovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: boris-kum@mail.ru;

**Chuykin Sergey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru

The environmental component of determining the calculation of radiant heat fluxes from linear radiators is of paramount importance, especially when considering the safety and health of people in the working area of the production facility. Radiant heat, if not controlled, can lead to risks, so the development of a reliable and accurate method for calculating radiant heat flux in such cases is necessary to ensure the use of the working environment. The main problems associated with determining the increase in the amount of radiant heat fluxes from sources of linear loss, pairing with the complexities of radiant heat transfer, changing the radiator and changing environmental conditions. The task is to develop a reliable and reproducible method for calculating the heat flux from such radiators under various conditions. Several assumptions occurred in the development of the model, including the linearity of the emitter, the homogeneity of the medium through which the heat is radiated, and the application of the Stefan-Boltzmann law as the main guiding volume of listening. The radiation properties of materials are also displayed on the operating temperature screen.

**Keywords:** radiant heating, thermal radiation, infrared radiometry, photons, line source.

Объектом настоящего исследования является плотность лучистых тепловых потоков от линейных излучателей. Цель исследования – разработать надежный, точный и воспроизводимый метод определения плотности лучистых тепловых потоков от излучателей линейной протяженности в различных условиях для обеспечения безопасных условий труда. Актуальность исследования – учитывая потенциальные риски, которые излучающее тепло представляет в промышленной среде, особенно в отношении здоровья и безопасности людей, существует необходимость точно определить показатели плотности лучистого теплового потока. Научная новизна – использование принципа аддитивности и рассмотрение линейного излучателя как серии точечных изотропных источников предлагает новый подход к решению проблем лучистой теплопередачи от линейных источников. Теоретическая значимость – исследование обеспечивает глубокое понимание лучистого теплового потока от линейных источников, сравнение его с точечными источниками и объединение таких концепций, как закон Стефана – Больцмана. Применение принципа аддитивности предлагает теоретическую основу для решения других подобных проблем.

В работе поставлены следующие задачи:

- определить различия между точечными и протяженными источниками лучистого тепла;
- выявить радиационные свойства материалов и их постоянство в диапазоне рабочих температур;
- рассчитать плотность потока фотонов в конкретных точках относительно линейного источника;
- проанализировать принцип аддитивности и его значимость для определения лучистого тепла от линейных источников.

Практическая значимость – разработанный метод способствует повышению эффективности работы предприятий и, что более важно, повышению стандартов безопасности на рабочих местах, подверженных воздействию лучистых тепловых потоков.

В отличие от точечных источников поля излучения протяженных зависят от их формы и размеров, а в случае объемных источников –

в том числе от процессов поглощения (самопоглощения) и рассеивания излучения в веществе самого источника. Расчет теплоизлучений от протяженных источников оказывается более сложным и трудоемким, чем от точечных

Рассмотрим наиболее важный с практической точки зрения линейный источник. К линейным источникам (непоглощающим) можно отнести трубопроводы, заполненные газом (или паром), если поперечные размеры невелики по сравнению с длиной и расстоянием до облучаемой области и можно пренебречь самопоглощением излучения в самом источнике [1–3].

Будем рассматривать линейный непоглощающий источник длиной  $L$  с линейной мощностью  $q_l$ , находящийся в воздухе, представляющий собой среду толщиной  $h$  и коэффициентом поглощения  $\mu$ .

Величина лучистого потока энергии определяется числом квантов (фотонов) света, падающих на единицу поверхности в единицу времени, энергия которых затрачивается на нагревание вещества при их поглощении. Рассчитываем плотность потока фотонов  $\phi$  в точке  $A_1$ , находящуюся напротив центра линейного источника. При этом будем предполагать, что все источники испускают моноэнергетические фотоны с энергией  $E_0$ . Для определения поля излучения от линейных источников воспользуемся принципом аддитивности [4–7]. Сущность этого принципа заключается в том, что источник разбивается на элементарные ячейки (отрезки длиной  $dl$ ), которые являются точечными изотропными, а для получения аналитического выражения суммарной плотности потока проводится интегрирование по всей его длине (рис. 1).

Поглощающие свойства окружающей среды описываются законом Бугера – Ламберта с коэффициентом поглощения  $\mu$ , определим плотность потока излучения в точке  $A_1$  от элементарного источника  $dl$ :

$$d\phi_1 = \frac{q_l \exp(-\mu h / \cos Q) dl}{4\pi(h / \cos Q)^2}. \quad (1)$$

Учитывая, что  $dl = h dQ / \cos^2 Q$ , выражение (1) можно записать в виде:

$$d\phi_1 = \frac{q_l dQ}{4\pi h} \exp(-\mu h / \cos Q). \quad (2)$$

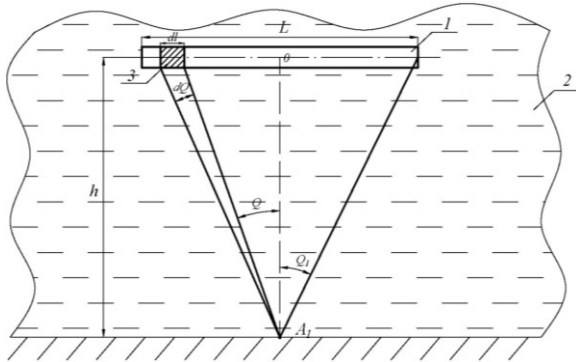


Рис. 1. Схематическое изображение определения поля излучения линейного источника в точке  $A_1$ .

1 - линейный источник излучения; 2 - внутренняя среда помещения (воздух); 3 - точечный (элементарный) источник излучения;  $Q, Q_1, dQ$  - углы, определяющие геометрическое расположение элементарного излучателя;  $h$  - толщина слоя воздуха помещения между излучателем и точкой  $A_1$

Интегрируя (2) по  $Q$  от 0 до  $Q_1 = \text{arctg}(L/2h)$  и умножая на 2, получим величину плотности потока фотонов в точке  $A_1$ :

$$\phi_1 = 2 \int_0^{Q_1} \frac{q_L dQ}{4\pi h} \exp(-\mu h / \cos Q) = \frac{q_L}{2\pi h} F(Q_1, \mu h), \quad (3)$$

где  $F(Q_1, \mu h) = \int_0^{Q_1} \exp(-\mu h / \cos Q) dQ$  - специальный интеграл (интеграл Зиверта), численные значения которого имеются в литературе [8].

Если окружающая среда прозрачна (коэффициент поглощения  $\mu = 0$ ), то интегрирование выражения (2) дает величину:

$$\phi_1^0 = \frac{q_L}{2\pi h} \text{arctg}\left(\frac{L}{2h}\right). \quad (4)$$

Для бесконечной длины линейного источника ( $L \rightarrow \infty$ ) при  $Q_1 \rightarrow \frac{\pi}{2}$  плотность потока в точке  $A_1$  равна

$$\phi_1^0 = \frac{q_L}{4h}. \quad (5)$$

Проводя аналогичные вычисления, можно получить величины плотности потоков и для других точек облучаемой поверхности. Например, плотность потока в точках  $A_2$  и  $A_3$ , в силу аддитивности, можно представить как сумму плотностей потока от линейных источников с длинами  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 2).

Тогда, согласно формулам (3) и (4), получим плотность излучаемых потоков для прозрачной среды исследуемого помещения. Следует заметить, что продукты сгорания представляют собой смесь двухатомных газов, дающих линейчатый (атомарный) спектр поглощения. В точке  $A_2$  получим значение:

$$\phi_2^0 = \frac{q_L}{4\pi h} \left( \text{arctg}\left(\frac{L_1}{h}\right) + \text{arctg}\left(\frac{L_2}{a}\right) \right). \quad (6)$$

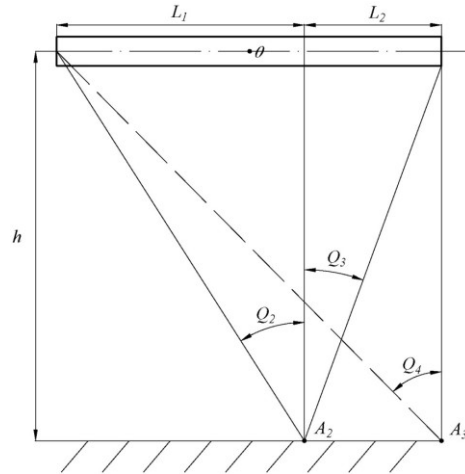


Рис. 2. К определению поля излучения в точках  $A_2$  и  $A_3$

Значение плотности потока для точки  $A_3$ , расположенной напротив правого торца излучателя:

$$\phi_3^0 = \frac{q_L}{4\pi h} \text{arctg}\left(\frac{L}{h}\right). \quad (7)$$

Место объекта излучения, характеризуемого точкой  $A_4$ , выходит за предел максимальной длины излучателя  $L$  на величину  $x$  (например, справа) согласно рисунку 3.

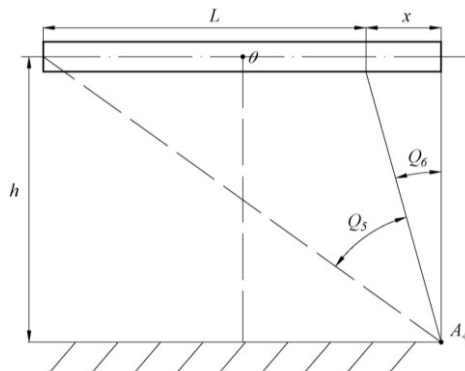


Рис. 3. К определению поля излучения линейного источника в точке  $A_4$

В этом случае вычисление плотности потока, увеличив общую длину источника на величину  $x$ , а затем, отняв вклад в плотность потока от этой отдельной части источника, выглядит следующим образом:

$$\phi_4^0 = \frac{q_L}{4\pi h} \left[ \text{arctg}\left(\frac{L+x}{h}\right) - \left( \text{arctg}\frac{x}{h} \right) \right]. \quad (8)$$

Рассмотрим теперь поле излучения линейного источника в осевом направлении (рис. 4).

Плотность потока не рассеянных фотонов в точке  $A_5$  от элемента источника длиной  $dl$  равна:

$$d\phi_5 = \frac{q_L dl}{4\pi(h+l)^2}. \quad (9)$$

Интегрируя (9) по  $l$  от 0 до  $L$ , получим:

$$\phi_5^0 = \frac{q_L L}{4\pi}. \quad (10)$$

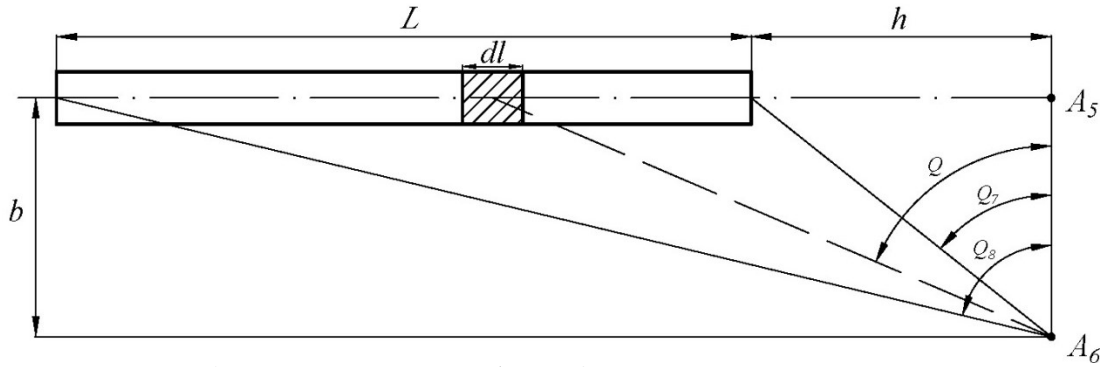


Рис. 4. К определению поля излучения линейного инфракрасного источника в осевом направлении

Плотность потока в точке  $A_6$  можно вычислить следующим образом. Элементарную плотность потока можно представить, как и в уравнении (1), с учетом поглощения среды в виде:

$$\begin{aligned} d\phi_6 &= \frac{q_L dl \exp(-\mu h / \cos Q)}{4\pi(b / \cos Q)^2} = \\ &= \frac{q_L dQ}{4\pi b} \exp(-\mu h / \cos Q). \end{aligned} \quad (11)$$

Если проинтегрировать выражение (12) по  $Q$  от  $Q_7$  до  $Q_8$ , то получится выражение для суммарной плотности излучения с учетом поглощающей среды:

$$\phi_6 = \frac{q_L}{4\pi b} [F(Q, \mu h) - F(Q_7, \mu h)], \quad (12)$$

а в прозрачном слое:

$$\phi_6^0 = \frac{q_L}{4\pi b} \left[ \arctg\left(\frac{h+l}{b}\right) - \arctg\left(\frac{a}{b}\right) \right]. \quad (13)$$

Известно, что при проектировании систем автономного локального отопления лучистые потоки поступают на внутренние поверхности внешних ограждающих конструкций от линейных излучателей. Указанные поверхности, как и все реальные тела, частично поглощают излучения, отражают и сами представляют собой излучатели, передающие энергию на другие ограждения.

Для описания процессов распространения лучистой энергии от такой поверхности рассмотрим объемный источник в виде следующих расчетных данных.

Моделирование теплового поля помещения бесконечного слоя (пластины) толщиной  $h$  с равномерно распределенной объемной мощностью теплового потока  $q_v$  и линейным коэффициентом затухания (поглощения) источника  $\mu_s$  (процесс поглощения протекает в соответствии с законом Бугера - Ламберта).

Плотность потока излучения в точке  $A$  (рис. 5) от элементарного объема  $dV = 2\pi r dx$  можно определить по стандартной формуле:

$$d\phi = \frac{q_v \exp(-\mu_s x / \cos Q) 2\pi r dx}{4\pi(r^2 + (a+x)^2)}. \quad (14)$$

Результирующую плотность потока находим в точке  $A$ , интегрируя (14) по всему объему слоя получим:

$$\phi = \frac{q_v}{4\pi} \int_0^h dx \int_0^\infty \frac{\exp(-\mu_s x / \cos Q) 2\pi r dr}{(r^2 + (a+x)^2)}. \quad (15)$$

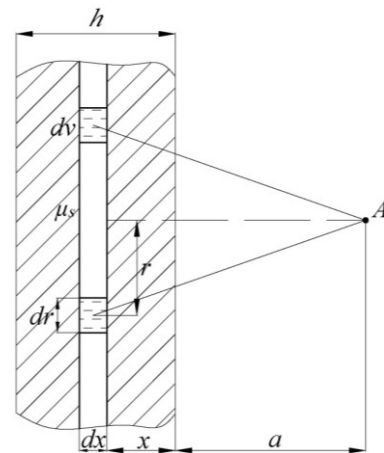


Рис. 5. К определению поля инфракрасного излучения источника в виде объемного слоя

Используя выражение

$$\cos Q = \frac{a+x}{\sqrt{(r^2 + (a+x)^2)}} \text{ и, производя замену переменных } y = \frac{\mu_s x \sqrt{(r^2 + (a+x)^2)}}{a+x}, \text{ получаем:}$$

$$\phi = \frac{q_v}{2} \int_0^h dx \int_{\mu_s x}^\infty \frac{\exp(-y)}{y} dy = \frac{d_v}{2} \int_0^h E(\mu_s x) dx, \quad (16)$$

где интегральная показательная функция  $E$  подчиняется общему виду:

$$E_n(x) = x^{n-1} \int_x^\infty \frac{\exp(-y)}{y^n} dy. \quad (17)$$

Для случая бесконечной пластины выражение (16) будет записано в виде:

$$\phi = \frac{q_v}{2\mu_s} [1 - E(\mu_s h)]. \quad (18)$$

Для случая  $\mu_s h \rightarrow \infty$  (случай бесконечной толщины пластины) формула (18) переходит в выражение:

$$\phi^p = \frac{q_v}{2\mu_s}. \quad (19)$$



С точки зрения физики свет, с одной стороны, это электромагнитная волна, с другой, поток фотонов (квантов света)  $N_\phi \cdot h\nu = R$ .

Величина, равная произведению энергии фотона  $h\nu$  на число фотонов  $N_\phi$ , падающее на единицу площади в единицу времени есть плотность потока световой энергии (энергетическая светимость  $R$ ), которая и определяется в настоящей работе в обозначениях  $\phi$  (поток). Энергетическая светимость – это и есть, по существу, лучисто тепло по закону Стефана – Больцмана для абсолютно черного тела:  $R = \sigma_0 T^4$ .

Таким образом, процесс определения плотности лучистых тепловых потоков от излучателей линейной протяженности представляет собой сложную, но ответственную задачу с широким спектром приложений в различных областях, таких как теплофизика, инженерия и энергетические исследования. Разработка точного, надежного и воспроизводимого метода для этой задачи может не только повысить эффективность работы, но и значительно повысить безопасность в промышленных условиях.

Последствия радиационного теплового потока для окружающей среды, особенно его влияние на здоровье и безопасность человека, подчеркивают

важность этой работы. Постоянное совершенствование методов расчета плотности теплового потока, наряду с внедрением эффективных мер защиты, является важнейшей составляющей в области охраны труда на производстве.

Поскольку наука и технологии продолжают развиваться, необходимы дальнейшие исследования для усовершенствования этих методов и расширения их применимости.

#### Заключение

Исходя из вышеизложенной темы, можно сделать следующие выводы.

1. Определение плотности лучистого теплового потока от линейных радиаторов является многогранным, но имеет важное практическое значение в промышленности.

2. Экологические последствия, прежде всего здоровье и безопасность работников, подчеркивают необходимость заранее выбранных точных методов.

3. Принцип аддитивности служит основополагающим методологическим подходом к этой проблеме, упрощая определение теплового излучения от протяженных источников.

4. По мере развития технологических достижений становится необходимым пересматривать и совершенствовать методологии, обеспечивая их актуальность и эффективность.

#### Список литературы

1. Патент на полезную модель № 213700 U1 Российская Федерация, МПК F24D 5/08, F23M 9/04, F28D 1/047. Двухзонный темный газолучистый обогреватель : № 2022118249 : заявл. 04.07.2022 : опубл. 23.09.2022 / С. В. Чуйкин, Е. С. Аралов.
2. Аралов Е. С. Оптимизация конструкции газолучистого обогревателя темного типа / Е. С. Аралов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1 (24). – С. 55–61.
3. Аралов Е. С. Эффективная конструкция двухзонного темного газолучистого обогревателя / Е. С. Аралов, С. В. Чуйкин // Математическое и экспериментальное моделирование физических процессов : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Биробиджан, 15 декабря 2022 года / под ред. В. М. Козина. – Биробиджан : Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема, 2023. – С. 62–66.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617539 Российская Федерация. Программа расчета коэффициента облучения при лучистом теплообмене прямоугольного обогревателя с элементарной площадкой : № 2023616247 : заявл. 28.03.2023 : опубл. 11.04.2023 / С. В. Чуйкин, Е. А. Копытина, Е. С. Аралов, С. О. Харин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет».
5. Аралов Е. С. Разработка программного комплекса для определения коэффициента облучения газолучистого обогревателя / Е. С. Аралов, С. В. Чуйкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 13–16.
6. Aralov E. S. Modeling of the thermal state of a room when using the heating structure of a two-zone dark gas-beam heater / E. S. Aralov, V. M. Kumitsky, O. A. Kutsigina, O. R. Dorniyak // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2023. – No. 3 (59). – Pp. 16–24.
7. Чуйкин С. В. Разработка конструкции и совершенствование методики расчёта двухзонного темного газолучистого обогревателя для отопления промышленных и общественных помещений / С. В. Чуйкин, Е. С. Аралов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2023. – № 2 (254). – С. 29–31.
8. Климанов В. А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. А. Климанов ; В. А. Климанов. – Москва : Московский инженерно-физ. ин-т (гос. ун-т), 2008. – 175 с.
9. Бухмиров В. В. Модификации зонального метода для решения задач радиационного теплообмена: основные положения / В. В. Бухмиров, С. А. Крупенников, Ю. С. Солнышкова // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2009. – № 2. – С. 61–63.
10. Бухмиров В. В. Повышение эффективности зональных методов расчета радиационного и сложного теплообмена / В. В. Бухмиров, С. А. Крупенников, Д. В. Ракутина, Ю. С. Солнышкова // VI Минский международный форум по тепло- и массообмену : тезисы докладов и сообщений, Минск, 19–23 мая 2008 года. – Минск : Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2008. – Том 1. – С. 193–194.

11. Калинина А. И. Особенности формирования микроклимата в помещениях с повышенной влажностью, с учетом теплотехнических характеристик ограждающих конструкций / А. И. Калинина, А. Р. Макаров, Е. С. Аралов // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 256–259.
12. Логинов В. Е. Взаимные поверхности радиационного теплообмена для круговых усеченных конусов / В. Е. Логинов // Известия ТРТУ. – 2004. – № 3 (38). – С. 202–204.
13. Павлов М. В. Повышение эффективности системы лучистого отопления теплицы с использованием газовых инфракрасных излучателей / М. В. Павлов, И. Н. Бутовский // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 6 (1018). – С. 36–38.
14. Идрисов А. З. Перспективы применения газовых инфракрасных излучателей в районах Крайнего Севера / А. З. Идрисов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 3. – С. 55–57.
15. Бодров В. И. Исследование систем лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей / В. И. Бодров, М. В. Бодров, А. А. Смыков // Приволжский научный журнал. – 2019. – № 3 (51). – С. 52–57.
16. Чуйкин С. В. Совершенствование методики расчета параметров влажного воздуха при проектировании систем кондиционирования помещений с искусственным льдом / С. В. Чуйкин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 1 (43). – С. 65–72.
17. Семенова Э. Е. Повышение энергоэффективности эксплуатируемых зданий / Э. Е. Семенова, В. С. Думанова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 (32). – С. 72–75.

© Е. С. Аралов, В. Н. Мелькумов, Б. М. Кумицкий, С. В. Чуйкин

**Ссылка для цитирования:**

Аралов Е. С., Мелькумов В. Н., Кумицкий Б. М., Чуйкин С. В. К методике определения плотности лучистых тепловых потоков от излучателей линейной протяженности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 3 (45). С. 22–27.

УДК 628.21/628.225/628.226  
DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-27-30

**ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СЕТЕЙ КАНАЛИЗАЦИИ ИЗ ШАТРОВЫХ ТРУБ**

*Д. И. Шлычков, А. Г. Челоненко*

**Шлычков Дмитрий Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7 (926) 286-56-54; e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru;  
**Челоненко Андрей Геннадьевич**, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7 (968) 517-79-34; e-mail: andreicelonenco@mail.ru

Рассмотрены основные вопросы, связанные с реконструкцией и гидравлическим расчетом канализационных труб из шатровых труб. Предложен расчет по классической формуле А. Шези, где основные составляющие: площадь сечения потока и скорость движения сточных вод, зависящая от коэффициента шероховатости стенок труб. Целью исследования является оценка пропускной способности трубы при ее реконструкции. Приведено описание и методики расчета канализационных труб шатрового сечения на конкретном примере. Сформулирован вывод о зависимости расхода от коэффициента шероховатости материала труб. Предложена разработка таблиц с указанием эквивалентных гидравлических характеристик для трубопроводов шатрового и круглого сечений.

**Ключевые слова:** сеть канализации, гидравлический расчет, шатровая труба, пропускная способность, кирпичный коллектор.

**FEATURES OF HYDRAULIC CALCULATION OF SEWER NETWORKS FROM TENT PIPES**

*D. I. Shlychkov, A. G. Chelonenko*

**Shlychkov Dmitriy Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Supply and Sanitation, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, phone: +7 (926) 286-56-54; e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru;  
**Chelonenko Andrey Gennadyevich**, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, phone: +7 (968) 517-79-34; e-mail: andreicelonenco@mail.ru

The main issues related to the reconstruction and hydraulic calculation of sewer pipes from tent pipes are considered. The calculation is proposed according to the classical formula of A. Shezi, where the main components are: the cross-sectional area of the flow and the velocity of wastewater movement, depending on the roughness coefficient of the pipe walls. The purpose of the study is to assess the capacity of the pipe during its reconstruction. The description and methods of calculation of sewer pipes of tent section on a concrete example are given. The conclusion is formed about the dependence of the flow rate on the roughness coefficient of the pipe material. The development of tables indicating equivalent hydraulic characteristics for tent and circular cross-section pipelines is proposed.

**Keywords:** sewerage network, hydraulic calculation, tent pipe, capacity, brick collector.