

Для цитирования: Абрамкина Д.В., Абрамян А.А., Шевченко-Эннс Э.Р. Экспериментальное определение коэффициентов конвективной теплоотдачи в системе вентиляции с тепловым побуждением. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(4): 133-141. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-133-141

For citation: Abramkina D.V., Abramyan A.A., Shevchenko-Enns E.R. Experimental determination of convective heat transfer coefficients in thermal buoyancy ventilation system. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (4): 133-141. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-4-133-141

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 697.952.2

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-4-133-141

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ С ТЕПЛОВЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ

Абрамкина Д.В.¹, Абрамян А.А.², Шевченко-Эннс Э.Р.³

¹⁻³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

¹⁻³129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия,

¹e-mail: dabramkina@ya.ru, ²e-mail: alexeyabramyan@icloud.com,

³e-mail: eleonora_shevchenkoenns@mail.ru

Резюме. Цель. Главной целью статьи является представление разработанного метода экспериментального определения коэффициентов конвективной теплоотдачи, подходящего при исследовании внутренней конвекции моделей сложной конфигурации. **Метод.** Исследование свободной конвекции в условиях внутренней задачи проводилось с помощью определения условной толщины пограничного слоя графическим методом. В первую очередь производился подбор расчетных сечений и плоскостей для экспериментальной установки. Выбор осуществляется таким образом, чтобы расчетные плоскости были перпендикулярны нагреваемым стенкам рассматриваемого канала. Установка экспериментальной модели возможна только в помещении с низкой подвижностью внутреннего воздуха, а также устойчивой температурой. В данном помещении не должно быть отопительных и нагревательных приборов, которые могут создавать сильные конвективные потоки около канала экспериментальной установки.

Результат. В статье представлены результаты экспериментального исследования по определению распределения температуры воздушного потока и средних коэффициентов конвективной теплоотдачи по высоте вентиляционного канала. Снижение коэффициентов конвективной теплоотдачи на высоте от 0,5 до 1 метра происходит менее заметно, чем на высоте от 1 до 2 метров, что связано с восстановлением течения после вентиляционного отвода. На участке стабилизации происходит сначала постепенное снижение, а потом увеличение осевой скорости, которое обусловлено слиянием разнонаправленных потоков воздуха в этой области.

Вывод. Выявлено, что в случае моделирования свободной конвекции в условиях внутренней задачи при наличии теплоотводящих границ в пределах расчетной разности температур, учет турбулизации течения практически не оказывает влияние на конечные результаты.

Ключевые слова: свободная конвекция, коэффициент теплоотдачи, условная толщина пограничного слоя, тепловое побуждение

BUILDING AND ARCHITECTURE

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN THERMAL BUOYANCY VENTILATION SYSTEM

*Daria V. Abramkina*¹, *Alexey A. Abramyan*², *Eleonora R. Shevchenko-Enns*³

¹⁻³ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),*

¹⁻³ *26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337, Russia,*

¹ *e-mail: dabramkina@ya.ru, ² e-mail: alexeyabramyan@icloud.com,*

³ *e-mail: eleonora_shevchenkoenns@mail.ru*

Abstract. Objectives. The main goal of the article is to present the developed method for the experimental determination of convective heat transfer coefficients, suitable for studying the internal convection of models of complex configuration. **Method.** The study of free convection under the conditions of an internal problem was carried out by determining the conditional thickness of the boundary layer by a graphic method. The first was the selection of the calculated sections and planes for the experimental installation. The selection is carried out in such a way that the calculated planes are perpendicular to the heated walls of the channel in question. Installation of an experimental model is possible only in a room with low internal air mobility, as well as a stable temperature. In this room there should not be heating and heating devices that can create strong convective currents near the channel of the experimental installation. **Result.** The article presents the results of an experimental study to determine the temperature distribution of the air flow and average convective heat transfer coefficients over the height of the ventilation channel. A decrease in convective heat transfer coefficients at an altitude of 0.5 to 1 meter occurs less noticeably than at an altitude of 1 to 2 meters, which is associated with the restoration of flow after a vent removal. At the stabilization section, there is first a gradual decrease, and then an increase in axial velocity, which is caused by the merging of multidirectional air flows in this area. **Conclusion.** It was revealed that in the case of modeling free convection under the conditions of an internal problem in the presence of heat-removing boundaries within the limits of the calculated temperature difference, taking into account the flow turbulization has practically no effect on the final results.

Keywords: free convection, heat transfer coefficient, conditional thickness of the boundary layer, thermal inducement

Введение. Исследования качественной структуры свободноконвективных потоков воздуха, формирующихся в ограниченных замкнутых и незамкнутых областях, характерны для различных областей науки: строительной теплофизики [1,2], ракетостроения [3], геологии [4], аэродинамики вентиляционных каналов [5] и солнечных коллекторов [6].

Процессы конвективного теплообмена в строительных конструкциях влияют на величину теплопотерь и теплопоступлений в здание, поэтому проведение исследований потоков воздуха в навесных фасадных системах [7], светопрозрачных конструкциях [8] и различных строительных материалах [9], играют значительную роль в комплексном подходе к энергосбережению здания. Современные научные работы, касающиеся разработок энергоэффективных систем вентиляции, таких как: системы с двойными вентилируемыми фасадами [10], атриумами [11], тепловым побуждением воздуха [12], используют свободную конвекцию в качестве основной движущей силы, позволяющей обеспечить требуемый воздухообмен в помещении.

Постановка задачи. В данной статье предлагается метод экспериментального определения коэффициентов конвективного теплообмена на примере системы вентиляции с тепловым побуждением движения воздуха.

Коэффициент теплоотдачи является сложной функцией различных величин, характеризующих процесс теплоотдачи. В общем случае коэффициент конвективной теплоотдачи является функцией формы, размеров и температуры поверхностей нагрева, температуры и скорости

движения жидкости, а так же ее физических свойств - коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости, плотности, коэффициента вязкости и других факторов. В связи с чем, коэффициенты теплоотдачи чаще всего определяют экспериментальным путем.

В основном, в подобных исследованиях нагрев поверхности осуществляется с помощью греющих кабелей [13], при этом ход проведения исследования выглядит следующим образом:

1. Определение суммарного теплового потока Q , Вт:

$$Q = \frac{U^2}{R_s}, \quad (1)$$

U - электрическое напряжение, приложенное к участку, В;

R_s - электрическое сопротивление участка, Ом.

2. Определение суммарной плотности теплового потока q , Вт/м²:

$$q = \frac{Q}{F}, \quad (2)$$

F - площадь поверхности теплообмена, м².

3. Определение плотности теплового потока излучением q_l , Вт/м²:

$$q_l = C_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_{cp}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{окр}}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

C_{np} - приведенный коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴);

T_{cp} - средняя температура рассматриваемого участка, К;

$T_{окр}$ - температура окружающих поверхностей, К.

4. Определение плотности конвективного теплового потока q_k , Вт/м²:

$$q_k = q - q_l \quad (4)$$

5. Определение локального коэффициента конвективной теплоотдачи α , Вт/(м²·°С):

$$\alpha = \frac{q_k}{\theta}, \quad (5)$$

θ - расчетная разность температур между нагретой поверхностью и жидкостью (газом), °С.

Однако данный метод является не совсем точным при исследовании больших установок в связи с тем, что электрическая мощность кабеля может значительно отличаться от суммарного теплового потока, передаваемого экспериментальной модели, который зависит от материала поверхности, ее месторасположения, степени прилегания кабеля и качества тепловой изоляции. Неточное определение лучистой составляющей теплового потока при некорректной оценке степени черноты может так же привести к возникновению существенной погрешности измерений [14].

Методы исследования. В настоящем исследовании предлагается графический способ определения коэффициента конвективной теплоотдачи, в основе которого лежит нахождение условной толщины пограничного слоя $\delta t'$, мм [15].

В первую очередь производится подбор расчетных сечений и плоскостей для экспериментальной установки. Выбор осуществляется таким образом, чтобы расчетные плоскости были перпендикулярны нагреваемым стенкам рассматриваемого канала (рис. 1а).

На рис.1б изображены координаты точек, в которых осуществляется измерение температуры. Необходимо учесть, что наибольшее колебание фактических координат точек, в которых проводятся измерения не должно превосходить $\pm 10\%$. Точка, рассматриваемая по центру сечения, служит для дополнительного контроля точности проводимых измерений.

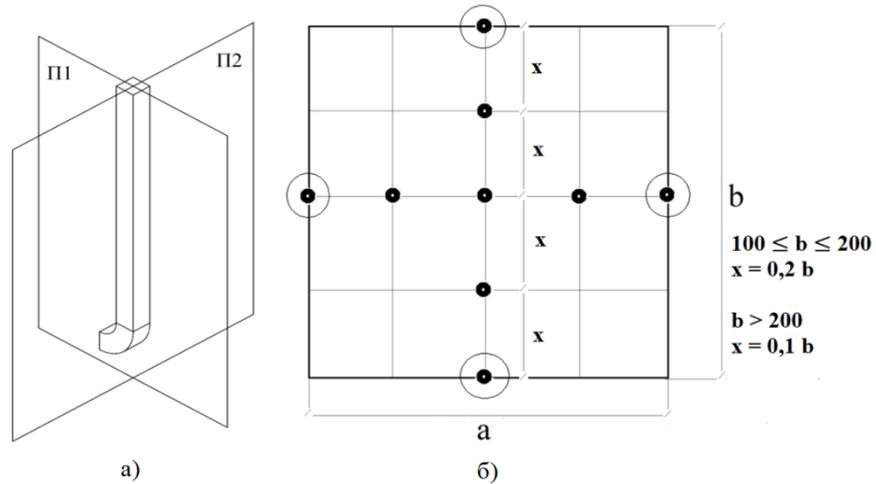


Рис.1 Методология проведения экспериментального исследования:

а) подбор расчетных плоскостей экспериментальной установки; б) координаты точек для измерения температуры

Fig.1 Methodology for conducting an experimental study:

a) selection of the calculated planes of the experimental setup; b) coordinates of points for temperature measurement

Установка экспериментальной модели возможна только в помещении с низкой подвижностью внутреннего воздуха, а также устойчивой температурой. В данном помещении не должно быть отопительных и нагревательных приборов, которые могут создавать сильные конвективные потоки около канала экспериментальной установки.

Измерение температур в каждой расчетной точке производилось с помощью термоанометра не менее 10 с. Если за время трех измерений данные прибора сохраняются приблизительно постоянными, то испытания можно считать оконченными. Наблюдение за условной температурой на поверхности канала производится с помощью термоэлектрических преобразователей.

По полученным результатам исследований, строятся температурные профили по высоте канала. Условная толщина пограничного слоя измеряется длиной под касательной и кривой распределения температур в пределах пограничного слоя у нагретой поверхности (рис.2).

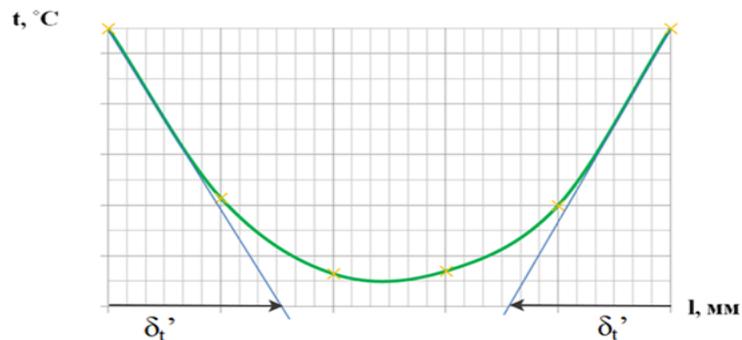


Рис. 2. Определение условной толщины пограничного слоя $\delta t'$, мм графическим методом

Fig. 2. The definition of the conditional thickness of the boundary layer $\delta t'$, mm graphical method

Коэффициент конвективного теплообмена, α , Вт/(м²·°C) определяется по формуле, в зависимости от условной толщины пограничного слоя $\delta t'$ и коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·°C) [15]:

$$\alpha = \frac{1000 \cdot \lambda}{\delta_t'} \quad (6)$$

Обсуждение результатов. На рис. 3 представлены результаты натурального исследования при расчетной разности условной температуры на стенке воздуховода и температуры внутреннего воздуха в помещении θ , равной 10°C .

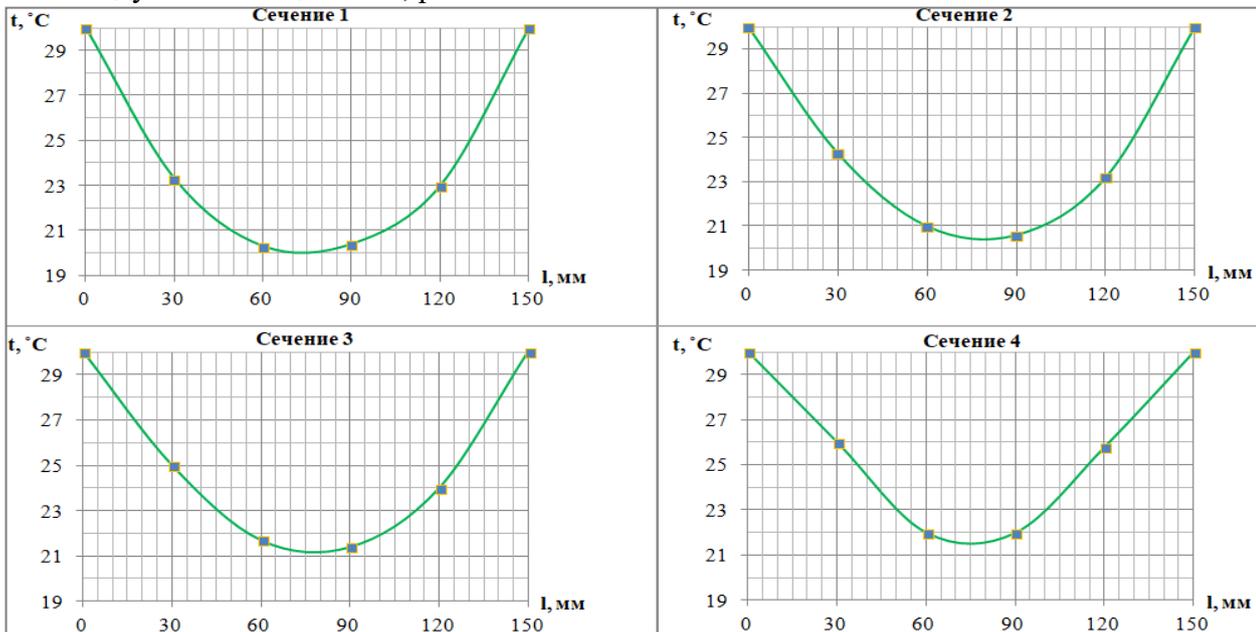


Рис.3. Графики распределения температуры воздушного потока по контрольным сечениям плоскости Π_1

Fig.3. Graphs of the distribution of temperature of the air flow on the control cross sections of the plane P_1

Как показывают результаты исследования, профили температуры будут различаться при рассмотрении плоскостей Π_1 (рис. 3) и Π_2 (рис. 4), данное явление обусловлено влиянием вентиляционного отвода.

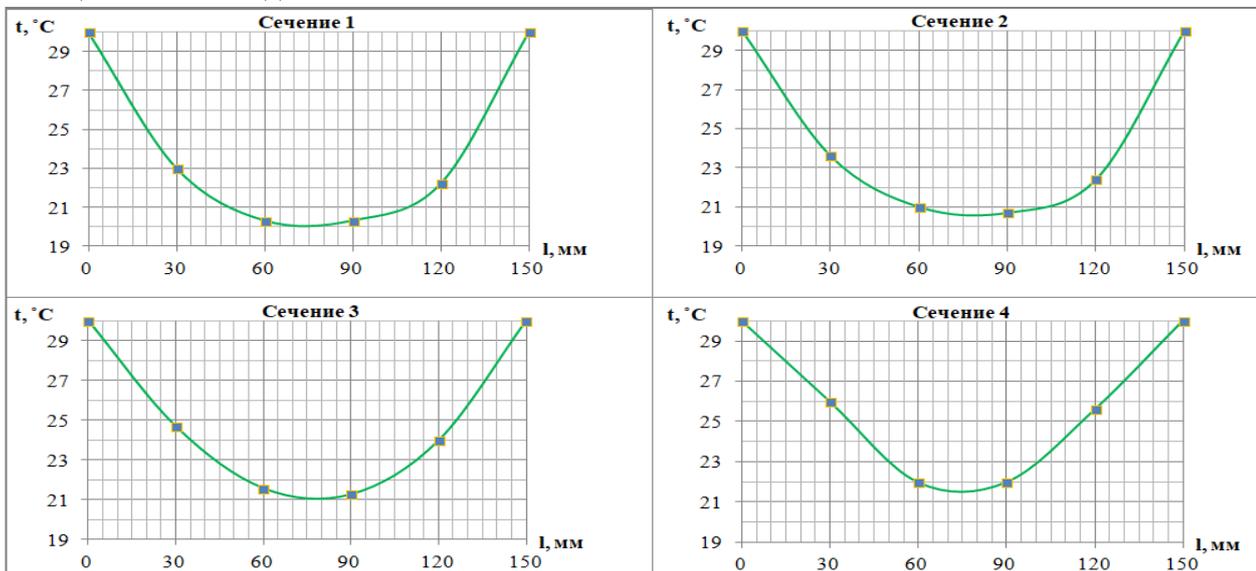


Рис.4. Графики распределения температуры воздушного потока по контрольным сечениям плоскости Π_2

Fig.4. Graphs of the distribution of air temperature over the control cross sections of the P_2 plane

Под действием центробежной силы поток воздуха отесняется к внешней границе вентиляционного отвода, отталкивая от стенки частицы с низкими скоростями [16], в связи с чем, происходит отеснение конвективного потока в вертикальной части канала со стороны скругления большего радиуса. В срыв потока в данном случае имеет менее ярко выраженный характер, чем при применении отводов прямоугольной формы [17].

С увеличением высоты, графики приобретают более крутой изгиб, что связано с постепенным увлечением прогрева ядра воздушного потока. Значения коэффициентов конвективной теплоотдачи в условиях внутренней конвекции на порядок меньше, чем при рассмотрении конвекции у поверхностей в неограниченном пространстве [18].

Данное явление обусловлено особенностями движения воздушных масс внутри нагретых каналов: ламинаризацией течения за счет наличия теплоотводящих границ, а так же стеснением потоков, формирующихся у стенок, в результате чего происходит снижение интенсивности теплоотдачи (рис. 5).

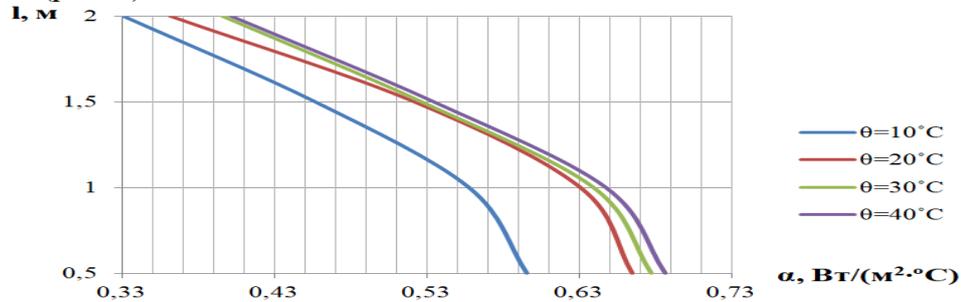


Рис.5. График изменения средних коэффициентов конвективной теплоотдачи α , Вт/(м²·°С) по высоте вентиляционного канала l , м при различной расчетной разности температур θ , °С

Fig.5. Graph of change of average coefficients of convective heat transfer α , W / (m² °C) along the height of the ventilation channel l , m at various calculated temperature difference θ , °С

Коэффициент конвективной теплоотдачи уменьшается по высоте вентиляционного канала, в силу увеличения толщины пограничного слоя, что характерно для ламинарного характера течения [17].

Снижение коэффициентов конвективной теплоотдачи на высоте от 0,5 до 1 метра происходит менее заметно, чем на высоте от 1 до 2 метров, что связано с восстановлением течения после вентиляционного отвода. На участке стабилизации происходит сначала постепенное снижение, а потом увеличение осевой скорости, которое обусловлено слиянием разнонаправленных потоков воздуха в этой области.

Для определения точности проводимых исследований, было проведено сравнение результатов эксперимента и численного моделирования, выполненного по методике, представленной в [5] (рис. 6).

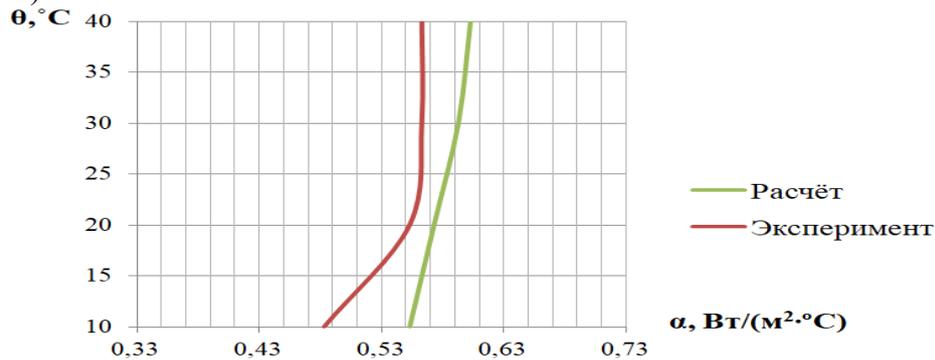


Рис. 6. Сравнение результатов численного моделирования и экспериментального исследования. График изменения средних коэффициентов теплоотдачи α , Вт/(м²·°С) в зависимости от расчетной разности температур θ , °С

Fig. 6. Comparison of the results of numerical simulation and experimental research. Graph of changes in average heat transfer coefficients α , W / (m² · °C) depending on the calculated temperature difference θ , °С

Вследствие низкой интенсивности теплообмена при свободной конвекции, проведение измерений температуры и скорости по сечению канала могут вызывать нарушения теплообмена [18], что особенно заметно при небольшой разности температур $\theta=10$ °С.

Вывод. Представленный метод позволяет высокоточно определить коэффициенты конвективной теплоотдачи, что особенно важно в случаях, когда экспериментальная модель имеет сложную геометрию.

Выявлено, что в случае моделирования свободной конвекции в условиях внутренней задачи при наличии теплоотводящих границ в пределах расчетной разности температур, учет турбулизации течения практически не оказывает влияние на конечные результаты.

Относительная погрешность при измерении температуры воздушного потока составила 0,5%.

Библиографический список

1. Корепанов Е.В. Свободная конвекция в окнах с двойным остеклением / Е.В. Корепанов // Известия высших учебных заведений. Строительство – 2005 – №2 – С. 106-113.
2. Корепанов Е.В. Конвективные течения и теплообмен в воздушных полостях строительных изделий / Е.В. Корепанов // Интеллектуальные системы в производстве. -2014. – № 2 (24). – С. 184-188.
3. Zyuzgin A.B. Convective motions in near-critical fluids under real zero-gravity conditions / A.B. Zyuzgin, A.I. Ivanov, V.I. Polezhaev, G.F. Putin, E. V. Soboleva // Cosmic Investigations – 2001 – V.39. №2 – Pp. 188-200.
4. Миндубаев М.Г., Демежко Д.Ю. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные / М.Г. Миндубаев, Д.Ю. Демежко // Мониторинг. Наука и технологии – 2012 – №4. – С. 12-18. http://csmos.ru/download/mnt/mnt_v013_art02.rar
5. Groenhout N.K., Morrison L. G., Behnia M. Natural convection heat transfer in a solar collector with complex geometry. / N.K. Groenhout, L.G. Morrison, M. Behnia // Conference: 39th National Heat Transfer Symposium of Japan, Sapporo. – 2002. – Pp. 317-318. <https://www.researchgate.net/publication/267780417>
6. Машенков А.Н., Косолапов Е.А. О методах численного решения двумерных уравнений Буссинеска для свободной конвекции / А.Н. Машенков, Е.А. Косолапов // Строительные науки – 2010. – №3. – С. 292-296. <https://cyberleninka.ru/article/v/o-metodah-chislennogo-resheniya-dvumernyh-uravneniy-bussineska-dlya-svobodnoy-konveksii>
7. De Giorgi L., Bertola V., Cafaro E. Thermal convection in double glazed windows with structured gap. / L. De Giorgi, V. Bertola, E. Cafaro // Energy and Buildings – 2011. – Vol. 43. – Iss. 8. – Pp. 2034-2038. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.043>
8. Arıcı M., Yılmaz B., Karabay H. Investigation of heat insulation performance of hollow clay bricks filled with perlite. / M. Arıcı, B. Yılmaz, H. Karabay // Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015). – 2016. – Vol. 130. – No. 1. – Pp. 266 - 268. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/130/a130z1p069.pdf>
9. Parra J., Guardo A., Egusquiza E., Alavedra P. Thermal performance of ventilated double skin façades with venetian blinds. / J. Parra, A. Guardo, E. Egusquiza, P. Alavedra // Energies. – 2015. – No. 8. – Pp. 4882-4898. doi:10.3390/en8064882
10. Tongbai P. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation / P. Tongbai, T. Chitsomboon // Journal of power and energy engineering – 2014. - №2. – Pp. 22-29.
11. Holman J.P. Experimental methods for engineers / J.P. Holman – NY.: McGraw-Hill series in mechanical engineering, 2012. – 761 p.
12. Данин В.В. Экспериментальное изучение свободно – конвективного охлаждения теплонагруженных поверхностей / В.В. Данин, О.Б. Цветков, О.П. Крестунов, С.Е. Семашко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 2. – С. 7-15.
13. Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М. Теория тепло- и массообмена. / Э.Р. Эккерт, Р.М. Дрейк - М.—Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
14. Рихтер Г. Гидравлика трубопроводов: Основные положения, результаты исследований, практич. расчеты и изготовление трубопроводов / Г.Рихтер – М.-Л.: Онти. Глав. ред. энергетич. лит-ры, 1936. – 324 с.
15. Дементьев М.А. О движении жидкости в местах поворота русла. / М.А. Дементьев – Л.: Изд. сектора гидротехники и гидротехн. сооружений, 1930. – 107 с.
16. Taylor A. Oetelaar1. Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues / aylor A. Oetelaar1, Clifton R. Johnston // Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering – 2012. – V. 36. - № 4. – Pp. 413-427.
17. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В.Н. Богословский – М.: Изд. Высшая школа, 1982. – 415 с.
18. Попов И.А. Гидродинамика и теплообмен внешних и внутренних свободноконвективных вертикальных течений с интенсификацией. Интенсификация теплообмена: монография / Под. общ. ред. Ю.Ф. Гортышова – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 326 с.

References:

1. Korepanov E.V. Svobodnaya konvektsiya v oknakh s dvoynym ostekleniem / E.V. Korepanov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo – 2005 – №2 – S. 106-113. [Korepanov E.V. Free convection in double glazed windows / E.V. Korepanov // Proceedings of higher educational institutions. Construction - 2005 - №2 - P. 106-113. (in Russ.)]
2. Korepanov E.V. Konvektivnye techeniya i teploobmen v vozdushnykh polostyakh stroitel'nykh izdelii / E.V. Korepanov // Intellektual'nye sistemy v proizvodstve. -2014. – № 2 (24). – S. 184-188. [Korepanov E.V. Convective flows and heat transfer in the air cavities of building products / E.V. Korepanov // Intellectual systems in production. -2014. - № 2 (24). - p. 184-188. (in Russ.)]
3. Zyuzgin A.B. Convective motions in near-critical fluids under real zero-gravity conditions / A.B. Zyuzgin, A.I. Ivanov, V.I. Polezhaev, G.F. Putin, E. B. Soboleva // Cosmic Investigations – 2001 – V.39. №2 – Pp. 188-200.
4. Mindubaev M.G., Demezhko D.Yu. Svobodnaya teplovaya konvektsiya v burovykh skvazhinakh: chislennoe modelirovanie i eksperimental'nye dannye / M.G. Mindubaev, D.Yu. Demezhko // Monitoring. Nauka i tekhnologii – 2012 – №4. – S. 12-18. http://cosmos.ru/download/mnt/mnt_v013_art02.rar [Mindubaev MG, Demezhko D.Yu. Free thermal convection in boreholes: numerical modeling and experimental data / MG. Mindubaev, D.Yu. Demezhko // Monitoring. Science and Technology - 2012 - №4. - p. 12-18. http://cosmos.ru/download/mnt/mnt_v013_art02.rar (in Russ.)]
5. Groenhout N.K., Morrison L. G., Behnia M. Natural convection heat transfer in a solar collector with complex geometry. / N.K. Groenhout, L.G. Morrison, M. Behnia // Conference: 39th National Heat Transfer Symposium of Japan, Sapporo. – 2002. – Pp. 317-318. <https://www.researchgate.net/publication/267780417>
6. Mashenkov A.N., Kosolapov E.A. O metodakh chislenogo resheniya dvumernykh uravnenii Bussineska dlya svobodnoi konveksii / A.N. Mashenkov, E.A. Kosolapov // Stroitel'nye nauki – 2010. – №3. – S. 292-296. <https://cyberleninka.ru/article/v/o-metodah-chislenogo-resheniya-dvumernykh-uravneniy-bussineska-dlya-svobodnoy-konveksii>[Mashenkov A.N., Kosolapov E.A. On methods for the numerical solution of the two-dimensional Boussinesq equations for free convection / A.N. Mashenkov, E.A. Kosolapov // Building Sciences - 2010. - №3. - p. 292-296. <https://cyberleninka.ru/article/v/o-metodah-chislenogo-resheniya-dvumernykh-uravneniy-bussineska-dlya-svobodnoy-konveksii> (In Russ.)]
7. De Giorgi L., Bertola V., Cafaro E. Thermal convection in double glazed windows with structured gap. / L. De Giorgi, V. Bertola, E. Cafaro // Energy and Buildings – 2011. – Vol. 43. – Iss. 8. – Pp. 2034-2038. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.043>
8. Arıcı M., Yılmaz B., Karabay H. Investigation of heat insulation performance of hollow clay bricks filled with perlite. / M. Arıcı, B. Yılmaz, H. Karabay // Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015). – 2016. – Vol. 130. – No. 1. – Pp. 266 - 268. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/130/a130z1p069.pdf>
9. Parra J., Guardo A., Egusquiza E., Alavedra P. Thermal performance of ventilated double skin façades with venetian blinds. / J. Parra, A. Guardo, E. Egusquiza, P. Alavedra // Energies. – 2015. – No. 8. – Pp. 4882-4898. doi:10.3390/en8064882
10. Tongbai P. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation / P. Tongbai, T. Chitsomboon // Journal of power and energy engineering – 2014. - №2. – Pp. 22-29.
11. Holman J.P. Experimental methods for engineers / J.P. Holman – NY.: McGraw-Hill series in mechanical engineering, 2012. – 761 p.
12. Danin V.V. Eksperimental'noe izuchenie svobodno – konvektivnogo okhlazhdeniya teplonagruzhennykh povrkhnostei / V.V. Danin, O.B. Tsvetkov, O.P. Krektunov, S.E. Semashko // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protssy i apparaty pishchevykh proizvodstv. – 2014. – № 2. – C. 7-15. [Danin V.V. Experimental study of free - convective cooling of heat-loaded surfaces / V.V. Danin, OB Tsvetkov, O.P. Krektunov, S.E. Semashko // Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and equipment for food production. - 2014. - № 2. - C. 7-15. 9 (In Russ.)]
13. Eckert E. R., Dreik R. M. Teoriya teplo- i massobmena. / E.R. Eckert, R.M. Dreik - M.—L.: Gosenergoizdat, 1961. – 680 s. [Eckert, E. R., Drake, R. M. The Theory of Heat and Mass Transfer. / E.P. Eckert, R.M. Drake - M. — L. : Gosenergoizdat, 1961. - 680 p (In Russ.)]
14. Rikhter G. Gidravlika truboprovodov: Osnovnye polozheniya, rezul'taty issledovaniy, praktich. raschety i izgotovlenie truboprovodov / G.Rikhter – M.-L.: Onti. Glav. red. energetich. lit-ry, 1936. – 324 s. [G. Richter. Hydraulics of pipelines: Basic provisions, results of research, practical. calculations and production of pipelines / G.Rikhter - M.L.: Onti. Chapters. ed. energetic liters, 1936. – 324 (In Russ.)]
15. Dement'ev M.A. O dvizhenii zhidkosti v mestakh povorota rusla. / M.A. Dement'ev – L.: Izd. sektora gidrotekhniki i gidrotekhn. sooruzhenii, 1930. – 107 s. [Dementiev M.A. On the movement of fluid in places of rotation of the channel. / M.A. Dementiev - L. : Izd. sector of hydraulic engineering and hydraulic engineering. constructions, 1930. - 107 p. (In Russ.)]
16. Taylor A. Oetelaar1. Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues / aylor A. Oetelaar1, Clifton R. Johnston // Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering – 2012. – V. 36. - № 4. – Pp. 413-427.

17. Bogoslovskii V.N. Stroitel'naya teplofizika. Teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh / V.N. Bogoslovskii – M.: Izd. Vysshaya shkola, 1982. – 415 s.[Bogoslovskii V.N. Construction thermophysics. Thermophysical foundations of heating, ventilation and air conditioning / V.N. Bogoslovskii - M. : Izd. Higher school, 1982. - 415 p. (In Russ.)]
18. Popov I.A. Gidrodinamika i teploobmen vneshnikh i vnutrennikh svobodnokonvektivnykh vertikal'nykh techenii s intensivatsiei. Intensifikatsiya teploobmena: monografiya / Pod. obshch. red. Yu.F. Gortyshova – Kazan': Tsentr innovatsionnykh tekhnologii, 2007. – 326 s.[Popov I.A. Hydrodynamics and heat transfer of external and internal free convective vertical flows with intensification. Intensification of heat transfer: monograph / Under. total ed. Yu.F. Gortyshova - Kazan: Center for Innovative Technologies, 2007. - 326 p. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Дарья Викторовна Абрамкина - преподаватель, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Алексей Арайкович Абрамян – бакалавр, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Элеонора Руслановна Шевченко-Эннс - бакалавр, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Information about the authors.

Daria V. Abramkina - Teacher, Department "Heat and gas supply and ventilation".

Alexey A. Abramyan - Bachelor, Department "Heat and gas supply and ventilation".

Eleonora R. Shevchenko-Enns - Bachelor, Department "Heat and gas supply and ventilation".

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.11.2018.

Принята в печать 23.12.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.11.2018.

Accepted for publication 23.12.2018.