

Анализ и обоснование основных параметров теплоносителя для конвективного аппарата

Артем М. Давыдов	¹	Amdavydov@mail.ru
Денис М. Давыдов	¹	davydov.dm@rea.ru
Владимир П. Кирпичников	¹	vpkirpichnikov@mail.ru
Екатерина А. Давыдова	²	katjushka-strish@mail.ru

¹ Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия

² Пушкинский отдел Королевского филиала Московского областного БТИ, ул. Лесная, 1, МО, Пушкино, 141200, Россия

Реферат. Основным звеном в технологическом процессе производства кулинарных изделий является тепловая обработка пищевых продуктов. Научная и инновационная деятельность по созданию энергоэффективных процессов при тепловой кулинарной обработке продуктов, обеспечению высокого качества и органолептических показателей готовых изделий, является актуальной задачей. В работе, на основании критериальных уравнений подобия, представлено теоретическое обоснование влияния величины скорости движения теплоносителя (греющей среды) в рабочей камере конвективного аппарата на интенсификацию процесса теплоотдачи от теплоносителя к нагреваемому изделию, что приводит к снижению температуры теплоносителя в процессе тепловой кулинарной обработки и сокращению ее продолжительности, в следствие чего увеличивается выход готовых изделий и снижается расход электрической энергии на единицу производимой продукции. Наглядно показано, что оптимальная скорость движения теплоносителя в рабочей камере конвективного аппарата должна быть не ниже 0,5 м/с при высоте яруса 0,06 м и 0,72 м/с для яруса высотой 0,04 м. В случае тепловой кулинарной обработки крупнокусковых полуфабрикатов минимальная скорость составляет 1–1,5 м/с. Для обеспечения равномерного нагрева изделий по ярусам конвективного аппарата при равной площади каналов притока и вытяжки максимальные расходы происходят в верхних и нижних ярусах. Соответственно равномерное распределение воздушного потока в рабочей камере может быть достигнуто при распределении площадей отверстий сверху вниз по ярусам обратно пропорционально эпорам распределения теплоносителя по высоте рабочей камеры. Полученные результаты исследования могут быть применимы при конструировании и производстве конвективных и пароконвективных аппаратов, а также в учебном процессе при подготовке инженеров-механиков и технологов при изучении ими дисциплин «Оборудование предприятий общественного питания» и «Процессы и аппараты пищевых производств».

Ключевые слова: конвектоматы, пароконвектоматы, распределение теплоносителя

Analysis and justification of the main parameters of the coolant for the convection apparatus

Artem M. Davydov	¹	Amdavydov@mail.ru
Denis M. Davydov	¹	davydov.dm@rea.ru
Vladimir P. Kirpichnikov	¹	vpkirpichnikov@mail.ru
Ekaterina A. Davydova	²	katjushka-strish@mail.ru

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

² Pushkin department of the Royal branch of Moscow regional BТИ, Lesnaya, 1, Moscow region, Pushkino, 141200, Russia

Summary. The main link in the technological process for the production of culinary products is the heat treatment of food products. Scientific and innovative activities to create energy-efficient processes in the heat culinary processing of products, ensure high quality and organoleptic indicators of finished products, is an actual task. In the research, based on the criterial equations of similarity, the theoretical justification of the influence of the velocity of the heat carrier (heating medium) in the working chamber of the convective apparatus on the intensification of the heat transfer process from the coolant to the heated article, which leads to a decrease in the temperature of the coolant in the process of heat cooking and reduction of its duration, in consequence of which the output of finished products increases and the consumption of electric energy per unit of output decreases. It is clearly shown that the optimum velocity of the coolant in the working chamber of the convective apparatus should not be less than 0.5 m/s at a height of 0.06 m and 0.72 m/s for a height of 0.04 m. In case of heat cooking large-piece semi-finished products, the minimum speed is 1–1.5 m/s. To ensure thermal culinary processing of products along the lines of the convective apparatus with equal area of the inflow and outflow channels, the maximum costs occur in the upper and lower tiers. Accordingly, a thermal culinary processing distribution of the air flow in the working chamber can be achieved by distributing the areas of the holes from top to bottom along the lines inversely proportional to the heat transfer profile of the heating chamber along the height of the working chamber. The obtained results of the research can be used in the design and manufacture of convective and steam convection units, as well as in the training process for the training of mechanical engineers and technologists in the study of disciplines "Equipment of public catering establishments" and "Processes and apparatuses in food industry"

Keywords: convectomat, combi ovens, distribution of the coolant

В последнее время в предприятиях общественного питания широкое распространение получили аппараты с принудительной циркуляцией теплоносителя – горячего воздуха или паро-воздушной смеси. Увлажнение греющего воздуха происходит либо естественно, за счет испарения влаги, выделяющейся из продукта, либо принудительно.

Для цитирования

Давыдов А.М., Давыдов Д.М., Кирпичников В.П., Давыдова Е.А. Анализ и обоснование основных параметров теплоносителя для конвективного аппарата // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 68–72. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-68-72

Соответственно конвективные аппараты делятся на конвектоматы и пароконвектоматы [3, 4]. Все пароконвектоматы имеют автоматизированную систему принудительного увлажнения теплоносителя (греющей среды). При этом, в зависимости от системы увлажнения теплоносителя пароконвектоматы делятся на аппараты бойлерного и инъекционного

For citation

Davydov A.M., Davydov D.M., Kirpichnikov V.P., Davydova E.A. Analysis and justification of the main parameters of the coolant for the convection apparatus. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 68–72. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-68-72

типа. В пароконвектоматах бойлерного типа в отдельной ёмкости (генераторе пара), нагревается вода, а получаемый в процессе кипения пар поступает в рабочую камеру. В пароконвектоматах инжекционного типа используется технология так называемого «прямого впрыска», вода подается через форсунки (инжектора) к центру вращающейся турбины. Высокоскоростная турбина диспергирует вихревым потоком воду на мельчайшие частицы, которые испаряются на ТЭНах и наполняют паром рабочую камеру. По своим рабочим характеристикам инжекторная система практически не отличается от бойлерной.

Увеличение скорости движения теплоносителя (греющей среды) приводит к интенсификации конвективного теплообмена и увеличению соответствующей составляющей коэффициента теплоотдачи α , который представляет собой сумму конвективной (α_k) и лучистой (α_l) составляющих.

При теплообмене, определяемом естественной конвекцией, в большинстве случаев преобладает лучистая составляющая. В результате взаимного экранирования, за счет разности удалённости от нагретых стенок рабочей камеры и нагревательных элементов создается значительная неравномерность нагрева кулинарных изделий. Естественно, это не может не затруднить реализацию технологического процесса, нацеленного на приготовление партии кулинарных изделий примерно одинакового, достаточно высокого качества.

Увеличив (с помощью вентилятора) скорость движения греющей среды, кроме резкого увеличения доли конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи, достигается эффект выравнивания температурного поля в рабочей камере, что позволяет разместить в ней большую партию обрабатываемого продукта на нескольких противнях, автоматизировать процесс нагрева и, в итоге, значительно увеличить производительность.

Увеличение скорости движения и влажности теплоносителя позволяет существенно интенсифицировать процесс теплоотдачи от теплоносителя к нагреваемому изделию, что приводит к снижению температуры теплоносителя в процессе тепловой кулинарной обработки и сокращению ее продолжительности, в следствие чего увеличивается выход готовых изделий и снижается расход электрической энергии на единицу производимой продукции [5, 6].

Снижение температуры теплоносителя в процессе тепловой кулинарной обработки за счет увеличения коэффициента теплоотдачи (α)

для различных кулинарных изделий на 10–15%, в сравнении с жарочными и пекарными шкафами с естественной конвекцией, приводит к снижению теплопотерь аппаратом в окружающую среду и позволяет осуществлять более мягкий нагрев, что приводит к повышению качества готовых изделий.

Как следует из многочисленных данных о конвективном теплообмене [2, 7, 8] в жарочных аппаратах с принудительной циркуляцией теплоносителя теплообмен происходит в условиях вынужденного движения греющей среды. Для этого случая характерно критериальное уравнение подобия вида:

$$Nu = c \times Re^a \times Pr^b (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (1)$$

где c , a , b – эмпирические коэффициенты, зависящие от режима течения, определяемые критерием Рейнольдса – $Re = wd_{экр}/\nu$; w – скорость потока, м/с; $d_{экр}$ – определяющий размер, м; ν – кинематическая вязкость греющей среды, м²/с; $Pr = \mu c_p / \lambda$ – критерий Прандтля, определяющий теплофизические свойства теплоносителя; μ – коэффициент динамической вязкости теплоносителя, Н·с/м²; c_p – изобарная теплоемкость греющей среды, Дж/(кг К); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К); $Pr_{ж}$, $Pr_{ст}$ – критерии Прандтля соответственно при температуре жидкости (потока) и стенки (поверхности продукта).

Для ламинарного режима течения, наблюдающегося при числах Рейнольдса менее 2320 ($Re \leq 2320$), критериальное уравнение выглядит следующим образом:

$$Nu = 0,33 \times Re^{0,3} \times Pr^{0,33} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (2)$$

а для турбулентного ($Re > 2320$)

$$Nu = 0,0296 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25} \quad (3)$$

Как видно из данных соотношений наибольшее влияние на величину критерия Нуссельта оказывает число Рейнольдса (Re), величина которого определяет режим течения.

Определим влияние размеров щелевой камеры конвективного аппарата на величину критерия Рейнольдса и соответственно определим требуемую скорость течения греющей среды, обеспечивающую интенсивный нагрев продукта.

Критерий Рейнольдса напрямую зависит от величины определяющего размера – $d_{экр}$, который связан с сечением и формой канала.

Очевидно, что максимальная интенсификация нагрева достигается при турбулентном режиме течения, при числе Рейнольдса $Re > 2320$, когда показатель степени при Re в критериальном уравнении возрастает до значения равного 0,8 [8].

Следовательно, минимальная скорость потока теплоносителя должна определяться турбулентный режимом течения. При этом эта скорость взаимосвязана с размерами и сечением потока.

Учитывая тенденции в унификации и использовании модульного принципа в создании современного теплового технологического оборудования, рабочая камера аппарата обычно рассчитывается на многоярусное размещение противней стандартного размера, соответствующего габаритности GN 1/1 (530×325 мм) [3]. Общая высота камеры будет определяться требуемой производительностью и, следовательно, количеством противней для продукта.

Обычно в рабочей камере реализуется параллельная схема движения греющей среды. При реализации такой схемы движения обеспечивается равномерная раздача её по ярусам. В результате все характеристики, описывающие нагрев продукта в одном ярусе, могут быть распространены на аппарат в целом.

Из опыта создания аппаратов конвективного типа [9-14] следует, что расстояние между противнями, то есть высота яруса, обычно составляет от 40 до 60 мм, что предопределяется возможностью размещения и тепловой обработки большинства обрабатываемых продуктов. В отдельных случаях, когда требуется произвести обработку крупнокусковых полуфабрикатов, ярус должен иметь высоту более 60 мм, часть противней (через один) изымается из камеры. В этом случае высоте яруса увеличивается до 80 ÷ 120 мм.

Таким образом, в качестве расчетной модели аппарата может быть рассмотрена щель размером 530×325 и высотой от 40 до 60 мм.

Определяющий размер для данных условий составляет:

$$d_{\text{экв}} = 4F/\Pi, (4)$$

где F – площадь поперечного сечения потока, м^2 ; Π – периметр поперечного сечения канала, м ; $\Pi = 2(a + h)$; a и h – размеры вертикального сечения яруса камеры: $a = 0,53$ м, h – изменяется в пределах от 0,04 до 0,06 м.

Таким образом, предельные значения определяющего размера составят:

$$\begin{aligned} d_{\text{экв}}^{\min} &= 4F^{\min}/\Pi^{\min} = \\ &= 4(0,53 \times 0,04)/2(0,53 + 0,04) = 0,074 \text{ м.} \\ d_{\text{экв}}^{\max} &= 4F^{\max}/\Pi^{\max} = 4(0,53 \times 0,06)/2(0,53 + \\ &+ 0,06) = 0,108 \text{ м.} \end{aligned}$$

Пользуясь полученными предельными значениями определяющего размера и критической величины числа Рейнольдса $Re = 2320$,

определим требуемую минимальную скорость потока, обеспечивающую турбулентный режим течения, пользуясь соотношением:

$$\begin{aligned} w &= Re/v/d_{\text{экв}}. (5) \\ w^{\max} &= Re \times v/d_{\text{экв}}^{\min} = \\ &= 2320 \times 23,13 \cdot 10^{-6}/0,074 = 0,72 \text{ м/с} \\ w^{\min} &= Re \times v/d_{\text{экв}}^{\max} = \\ &= 2320 \times 23,13 \cdot 10^{-6}/0,108 = 0,50 \text{ м/с} \end{aligned}$$

В расчете значение кинематической вязкости принято по сухому воздуху при температуре 100°C , $\nu = 23,13 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Нижний предел скорости, необходимой для нагрева продукта при условии турбулентности потока ($Re > 2300$), как видно из результатов расчета должен быть не менее 0,50 м/с для яруса конвективного шкафа высотой 0,06 м и не менее 0,72 м/с для яруса высотой 0,04 м. В случае тепловой обработки крупнокусковых полуфабрикатов, когда изделие заполняет значительную часть яруса его высота может уменьшиться вдвое, при этом минимальная скорость возрастет до 1–1,5 м/с.

Реально, по данным исследований [2], оптимальная скорость в конвективных аппаратах составляет от 1 до 3 м/с.

Для реализации данного скоростного режима объемный расход греющего воздуха W через ярус должен составить:

$$W = w \times f, \text{ м}^3/\text{с} (6)$$

где f – площадь поперечного сечения щелевой камеры, м^2 : $f = f^{\min} = a \times h^{\min} = 0,53 \times 0,04 = 0,021 \text{ м}^2$; w – скорость потока, м/с, принимаем исходя из принятых выше расчетов и рассуждений $w = 1 \text{ м/с}$: $W = w \times f = 1 \times 0,021 = 0,021 \text{ м}^3/\text{с}$.

Весовой расход по сухому воздуху (без учета содержания водяных паров) составит:

$$W = w \times f \times \rho (7)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; берем для сухого воздуха при температуре 100°C , $\rho = 0,946 \text{ кг/м}^3$; $W = w \times f \times \rho = 1 \times 0,021 \times 0,946 = 0,0198 \text{ кг/с}$

Для правильного и обоснованного выбора геометрических параметров элементов тракта греющей среды конвективных аппаратов с целью получения равномерной раздачи теплоносителя в рабочей камере необходимо рассмотреть взаимодействие притока и вытяжки. Анализ работы канала постоянного сечения с отверстиями равной площади по длине канала показал, что максимальное количество воздуха проходит через последние отверстия по ходу движения воздуха. Это наглядно представлено на рисунке 1, на котором представлены эпюры распределения расходов воздуха по высоте рабочей камеры.

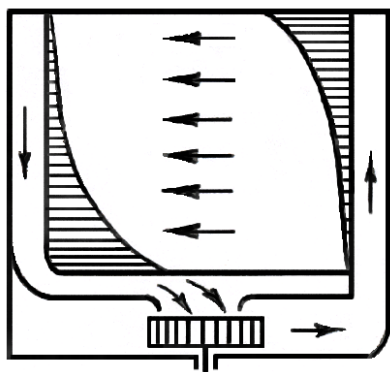


Рисунок 1. Предполагаемые эпюры распределения воздуха по высоте рабочей камеры

Figure 1. Proposed diagrams of air distribution over the height of the working chamber

При совместном действии притока и вытяжки при равной относительной площади каналов максимальные расходы, очевидно, следует ожидать в самом верхнем и самом нижнем ярусах. Таким образом, необходимо добиться равномерной раздачи не только притока, но и вытяжки при их совместной работе. Для достижения этой цели в практике прибегают к различным способам. В [1] описан один из методов осуществления равномерного всасывания в сборный коллектор.

Экспериментально подбирались площади отверстий по высоте канала. Так, для канала, имеющего девять рядов отверстий, соотношение площадей сверху вниз соответствовало:

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. М.: «Профиздат», 1965.
- 2 Белобородов В.В., Вороненко В.А., Шпак Ю.П. Математическая модель процесса разогрева теплоносителя в аппарате с принудительной циркуляцией воздуха. Л.: ЛИСТ им. Ф. Энгельса, 1980.
- 3 Ботов М.И., Давыдов Д.М., Кирпичников В.П. Электротепловое оборудование индустрии питания. СПб.: Лань, 2017.
- 4 Кирпичников В.П., Ботов М.И. Оборудование предприятий общественного питания. Ч. 2. Тепловое оборудование. М.: Издательский центр «Академия», 2012.
- 5 Кирпичников В.П., Давыдов А.М. Влияние величины загрузки на технико-экономические показатели пароконвектоматов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6 (48).
- 6 Кирпичников В.П., Давыдов А.М. Влияние величины загрузки на технико-экономические показатели жарочных шкафов // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2017. № 2 (92).
- 7 Куцакова В.Е., Богатырев А.Н. Интенсификация тепло- и массообмена при сушке пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1987.

100, 77, 53, 33, 28, 19, 17, 14, 13%, т. е. площадь отверстий, ближайших к вентилятору была минимальной.

Соответственно, исходя из приведенного расчета и анализа можно сделать следующие выводы:

— Оптимальная скорость движения теплоносителя в рабочей камере конвективного аппарата должна быть не ниже 0,5 м/с при высоте яруса 0,06 м и 0,72 м/с для яруса высотой 0,04 м. В случае тепловой кулинарной обработки крупнокусковых полуфабрикатов минимальная скорость составляет 1–1,5 м/с.

— Для обеспечения равномерного нагрева изделий по ярусам конвективного аппарата при равной площади каналов притока и вытяжки максимальные расходы происходят в верхних и нижних ярусах. Таким образом, равномерное распределение воздушного потока в рабочей камере может быть достигнуто при распределении площадей отверстий сверху вниз по ярусам обратно пропорционально эпюрам распределения теплоносителя по высоте рабочей камеры.

— Температурный режим тепловой кулинарной обработки различных изделий в конвективных аппаратах необходимо осуществлять в соответствии с рекомендациями, представленными в сборниках рецептов блюд и кулинарных изделий для жарочных и пекарных аппаратов с естественной конвекцией, снижая температуру теплоносителя на 10–15 % от рекомендуемой.

8 Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: ООО «ИД «БАСТЕТ», 2010.

9 Каталог профессионального кухонного оборудования Abat-2018. URL: <http://abat.ru/catalogue2018>.

10 Kreutz T. et al. Co-production of hydrogen, electricity and CO₂ from coal with commercially ready technology. Part B: Economic analysis // International Journal of Hydrogen Energy. 2005. V. 30. № 7. P. 769-784.

11 Lee H. S. Optimal design of thermoelectric devices with dimensional analysis // Applied energy. 2013. V. 106. P. 79-88.

12 Chen L., Zhang X. R. Experimental analysis on a novel solar collector system achieved by supercritical CO₂ natural convection // Energy Conversion and Management. 2014. V. 77. P. 173-182.

13 Mohan G., Maiya M. P., Murthy S. S. Performance simulation of metal hydride hydrogen storage device with embedded filters and heat exchanger tubes // International Journal of Hydrogen Energy. 2007. V. 32. № 18. P. 4978-4987.

14 Andrés-Chicote M. et al. Experimental study on the cooling capacity of a radiant cooled ceiling system // Energy and Buildings. 2012. V. 54. P. 207-214.

REFERENCES

- 1 Baturin V.V. Osnovy promyshlennoi ventilyatsii [Fundamentals of industrial ventilation] Moscow, Profizdat, 1965. (in Russian)
- 2 Beloborodov V.V., Voronenko V.A., Shpak Yu.P. Matematicheskaya model' protsessa razogreva teplonosatelya [Mathematical model of the process of heating the coolant in the device with forced air circulation] Leningad, LIST im. F. Engels, 1980. (in Russian)
- 3 Botov M.I., Davydov D.M., Kirpichnikov V.P. Elektroteplovoe oborudovanie industrii [Electrothermal equipment of the food industry] Saint-Petersburg, Lan, 2017. (in Russian)
- 4 Kirpichnikov V.P., Botov M.I. Oborudovanie predpriyatii obshchestvennogo pitniya [Equipment of public catering establishments. Part 2. Heating equipment] Moscow, Akademiya, 2012. (in Russian)
- 5 Kirpichnikov V.P., Davydov A.M. Influence of the value of the load on the technical and economic parameters of combi steamers. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Scientific-Research Journal] 2016. no. 6 (48). (in Russian)
- 6 Kirpichnikov V.P., Davydov A.M. Influence of the value of the load on the technical and economic parameters of the frying cupboards. *Vestnik REU im. G.V. Plekhanova* [Proceedings of the Russian Economic University G.V. Plekhanov] 2017. no. 2 (92). (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Артём М. Давыдов к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия, Amdavydov@mail.ru

Денис М. Давыдов к.т.н., декан факультета гостинично-ресторанной, туристической и спортивной индустрии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия, davydov.dm@rea.ru

Владимир П. Кирпичников д.т.н., профессор, главный специалист научной школы «Химия и технология полимерных материалов», Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия, vpkirpichnikov@mail.ru

Екатерина А. Давыдова кадастровый инженер, Пушкинский отдел Королевского филиала Московского областного БТИ, ул. Лесная, 1, МО, Пушкино, 141200, Россия, katjushka-strish@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Артём М. Давыдов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнил расчёты

Денис М. Давыдов предложил методику проведения эксперимента

Владимир П. Кирпичников консультация в ходе исследования

Екатерина А. Давыдова консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.03.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.04.2018

7 Kutsakova V.Ye., Bogatyrev A.N. Identifikatsiya teplo- I massoobmena pri sushke [Intensification of heat and mass transfer while drying food products] Moscow, Agropromizdat, 1987. (in Russian)

8 Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Osnovy teploperedachi [Fundamentals of heat transfer] Moscow, BASTET, 2010. (in Russian)

9 Katalog professional'nogo kukhonnogo oborudovaniya [Catalog of professional kitchen equipment Abat 2018] Available at: <http://abat.ru/catalogue2018>. (in Russian)

10 Kreutz T. et al. Co-production of hydrogen, electricity and CO2 from coal with commercially ready technology. Part B: Economic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2005. vol. 30. no. 7. pp. 769-784.

11 Lee H. S. Optimal design of thermoelectric devices with dimensional analysis. *Applied energy*. 2013. vol. 106. pp. 79-88.

12 Chen L., Zhang X. R. Experimental analysis on a novel solar collector system achieved by supercritical CO2 natural convection. *Energy Conversion and Management*. 2014. vol. 77. pp. 173-182.

13 Mohan G., Maiya M. P., Murthy S. S. Performance simulation of metal hydride hydrogen storage device with embedded filters and heat exchanger tubes. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2007. vol. 32. no. 18. pp. 4978-4987.

14 Andrés-Chicote M. et al. Experimental study on the cooling capacity of a radiant cooled ceiling system. *Energy and Buildings*. 2012. vol. 54. pp. 207-214.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Artem M. Davydov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department for Restaurant Business of the PRUE, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, Amdavydov@mail.ru

Denis M. Davydov Cand. Sci. (Engin.), dean of the faculty of Hotel, Restaurant, Tourism and Sport industry, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, davydov.dm@rea.ru

Vladimir P. Kirpichnikov Dr. Sci. (Engin.), professor, chief specialist of the scientific school "Chemistry and technology of polymeric materials", Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, vpkirpichnikov@mail.ru

Ekaterina A. Davydova cadastral engineer, Pushkin department of the Royal branch of Moscow regional BТИ, Lesnaya, 1, Moscow region, Pushkino, 141200, Russia, katjushka-strish@mail.ru

CONTRIBUTION

Artem M. Davydov review of the literature on an investigated problem, performed computations

Denis M. Davydov proposed a scheme of the experiment

Vladimir P. Kirpichnikov consultation during the study

Ekaterina A. Davydova consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.1.2018

ACCEPTED 4.2.2018