УДК 628.1:697.3

УЧЕТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА НА НУЖДЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

О.Д. Самарин

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

Аннотация. Энергосбережение является важной проблемой в ходе эксплуатации зданий. В статье рассмотрено влияние неравномерности водопотребления на предполагаемый энергетический эффект от утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах вытяжной вентиляции жилых зданий при переводе данных систем на механическое побуждение с целью предварительного подогрева воды для горячего водоснабжения. Выполнен расчет температурной эффективности теплообменного оборудования по безразмерным параметрам через число единиц переноса теплоты при оптимальной противоточной схеме движения теплоносителя в условиях переменного водоразбора для типового жилого здания серии ПЗ-1/16 с использованием метода Монте-Карло для моделирования стохастических процессов. Дана оценка влияния колебаний текущего водопотребления на мгновенный коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора и общее энергопотребление здания и показано, что погрешность при их вычислении по среднесуточным параметрам находится в пределах точности инженерного расчета.

Ключевые слова: энергосбережение, теплоутилизация, теплообменник, температурная эффективность, метод Монте-Карло

DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.341-345

ACCOUNTING FOR NONUNIFORMITY OF WATER CONSUMPTION IN THE EXHAUST AIR HEAT RECLAMATION SYSTEMS FOR HOT WATER SUPPLY

O.D. Samarin

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

Abstract. This article is devoted to assessment of the influence of variation of daily hot water consumption on the predicted energy effect by using heat recovery of exhaust air in typical exhaust ventilation systems of the most commonly used flat buildings during their switch to the mechanical induction for the pre-heating of water for hot water supply. It outlines the general principle of the organization of this method of energy saving and presents the basic equations of heat transfer in the heat exchanger.

The article proposes a simplified method of accounting for changes in the heat transfer coefficient of air-to-water heat exchanger with fluctuations of water demand using existing dependencies for this coefficient from the rate flow of heating and heated fluid through the device. It presents observations to identify the parameters of the real changes of water consumption during the day with the main quantitative characteristics of normally distributed random variables.

Calculation of thermal efficiency of the heat exchange equipment using dimensionless parameters through the number of heat transfer under the optimal opposing scheme of fluid motion is completed under conditions of variable water flow rate for the type residential building of the ПЗ-1/16 series using the Monte Carlo method for numerical modeling of stochastic processes. The estimation of the influence of fluctuation of the current water consumption on the instantaneous thermal efficiency factor of the heat exchanger and the total energy consumption of the building is given, and it is shown that the error of said calculation using average daily parameters is within the margin of usual engineering calculation.

Key words: energy saving, heat reclamation, heat exchanger, temperature efficiency, Monte Carlo method

Вопросы энергосбережения в зданиях в настоящее время являются весьма актуальными и рассматриваются в многочисленных работах как отечественных, так и зарубежных авторов, например [1–10].

Одним из сравнительно малозатратных и быстрокупаемых методов снижения энергопотребления жилых зданий, в которых обычно предусматривается система естественной или механической вытяжной

Схема системы утилизации теплоты вытяжного воздуха для предварительного подогрева воды в системе ГВС
Diagram of exhaust air heat reclamation system for pre-heating of water in hot water supply system

вентиляции без специального подогрева притока, является утилизация теплоты вытяжного воздуха для предварительного повышения температуры воды в системе горячего водоснабжения (ГВС) [11], особенно при переводе здания на механическую вытяжку. Такой метод может быть достаточно эффективным в силу значительной доли ГВС в общем энергетическом балансе жилых объектов [12]. В этом случае в вытяжной шахте устанавливается водовоздушный теплообменник, в трубки которого поступает вода из холодного водопровода, а затем она направляется для дальнейшего нагрева обычным способом. Схема такой системы приведена на рисунке [13].

В работе [13] автором была приведена оценка достигаемого при этом уменьшения теплотрат здания, исходя из средних показателей за отопительный период. Она базируется на известных соотношениях для температурной эффективности теплообменных аппаратов, использующих безразмерные параметры [14]. Эффективность по воде при противоточной схеме движения теплоносителей в рекуператоре

$$k_y = \frac{1 - \exp(NTU_{\min} - NTU_{\max})}{1 - \frac{NTU_{\min}}{NTU_{\max}} \exp(NTU_{\min} - NTU_{\max})}, \quad (1)$$

где $NTU_{\max}$ и $NTU_{\min}$ — большее и меньшее из безразмерных чисел единиц переноса теплоты для теплоутилизационного оборудования рассматриваемой системы вытяжной вентиляции (для воздуха и воды).

Данные параметры определяются следующим образом:

для воздуха:

$$NTU_{\text{возд}} = \frac{3600KF}{L_y c_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}}} = \frac{3KF}{L_y}, \quad (2)$$

где K — коэффициент теплопередачи теплообменника, Вт/(м² · К); F — его поверхность теплообмена, м², принимаемая по характеристикам соответствующего

оборудования; L_y — воздухопроизводительность вытяжной установки, где установлен рассматриваемый теплообменник, м³/ч; $c_{\text{возд}}$ и $\rho_{\text{возд}}$ — соответственно удельная теплоемкость, Дж/(кг · К), и плотность воздуха, кг/м³.

Для вытяжного воздуха можно принимать $c = 1000$ Дж/(кг · К) и $\rho = 1,2$ кг/м³, откуда и следует упрощенное выражение для $NTU_{\text{возд}}$.

Для воды среднее значение:

$$NTU_{\text{вод. ср}} = \frac{24 \cdot 3600KF}{Q_{\text{гв. ср}} c_{\text{вод}} \rho_{\text{вод}}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{гв. ср}}$ — это ее средний расход в системе ГВС за отопительный период, м³/сут; $c_{\text{вод}} = 4190$ Дж/(кг · К) и $\rho_{\text{вод}} = 1000$ кг/м³ — соответственно удельная теплоемкость и плотность воды. После этого можно найти и эквивалентный коэффициент эффективности k по притоку пересчетом на соответствующую разность температур и соотношение NTU :

$$k = k_y \frac{NTU_{\min} (t_y - t_x)}{NTU_{\max} (t_y - t_{\text{оп}})}, \quad (4)$$

где t_y — температура вытяжного воздуха, которую в жилых зданиях можно считать равной около +23 °С; $t_x = +5$ °С — начальная температура холодной воды; $t_{\text{оп}}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период. Такой пересчет необходим, поскольку в действующих нормативных документах, в первую очередь [15], предусмотрена оценка энергопотребления именно на вентиляцию, а не на ГВС [16–17]. Следовательно, и получаемая экономия теплоты за счет теплоутилизации должна быть отнесена к системе вентиляции.

Однако в действительности потребление горячей воды отличается существенной неравномерностью как в течение года, так и, в первую очередь, в течение суток, причем отклонение часовых расходов воды от

среднесуточного могут быть весьма существенными. Минимальный водоразбор наблюдается ночью и в дневные часы, а максимальный, как правило, утром и вечером. В жилых зданиях коэффициент часовой неравномерности водопотребления в системах ГВС обычно принимается на уровне не менее 2,4 [18], а при среднем числе жителей около 500–1000 чел. он будет выше и составит около 3,5 [19]. В то же время зависимость для коэффициента температурной эффективности теплоутилизатора от числа единиц переноса теплоты является существенно нелинейной. Кроме того, само значение NTU для воды будет в некоторой степени изменяться, поскольку при колебаниях расхода будет варьироваться и коэффициент теплопередачи теплообменника.

Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос о том, насколько точной будет оценка суммарного снижения энергопотребления в здании за счет применения теплоутилизации для подогрева воды на ГВС при использовании для расчета средних показателей за отопительный период. Специфика теплообмена и теплопередачи в различных устройствах, используемых в инженерных системах зданий, рассматривалась в ряде работ различных авторов как в нашей стране, так и за рубежом [20–24]. Однако в исследуемом случае необходимо моделировать реальный процесс функционирования теплообменного аппарата при стохастических колебаниях водопотребления. Сделать это можно, например, методом Монте-Карло, когда текущие значения расхода воды генерируются с использованием датчика псевдослучайных чисел. Автором была разработана программа на языке Fortran, алгоритм которой предусматривает вычисление на каждом временном шаге относительного расхода $\bar{Q} = Q_{гв} / Q_{гв.ср.}$, пересчет величины $NTU_{вод} = NTU_{вод.ср} / \bar{Q}^{0,82}$, сравнение полученного результата с $NTU_{возд}$, выбор большего и вычисление текущей температурной эффективности k . Затем все значения k осредняются по общему числу произведенных испытаний, которое в рассматриваемом случае было принято равным $2 \cdot 10^6$, что достаточно для обеспечения статистической устойчивости, но в то же время на много порядков меньше периода повторяемости применяемого датчика, который равен примерно $2^{31} \approx 1,1 \cdot 10^9$.

При вычислении относительного расхода $\bar{Q}$ для упрощения расчетов было сделано предположение о нормальном распределении расхода в системе ГВС, хотя на самом деле это не совсем так и отклонения водопотребления от среднего не вполне симметричны хотя бы потому, что оно может увеличиваться, в принципе, неограниченно, а уменьшаться только до нуля. Кроме того, интервалы времени в течение суток, когда водоразбор оказывается меньше и больше среднесуточного, вообще говоря, не равны друг другу. Тем не менее, поскольку целью исследования является только проверка влияния самого факта наличия колебаний водопотребления на величину k ,

указанные допущения не играют существенной роли. Достаточно только обеспечить примерное соответствие принятого среднеквадратического отклонения (СКО) для расхода $\bar{Q}$ реальному, что и было сделано из следующих соображений: если, как уже упоминалось, максимальный коэффициент часовой неравномерности можно считать равным примерно 3,5, это означает, что максимальное отклонение $\bar{Q}$ от среднего в большую сторону составляет $3,5 - 1 = 2,5$, а поскольку в математической статистике обычно утверждается, что такое отклонение в три раза выше среднего [25], отсюда СКО составит $2,5/3 = 0,83$.

Кроме того, необходимо пояснить, что показатель степени, равный 0,82, в знаменателе выражения для пересчета $NTU_{вод}$ через расход $\bar{Q}$ возникает из сопоставления формул для $NTU_{вод}$ (3) и для коэффициента теплопередачи теплообменника K , входящего в $NTU_{вод}$ (по данным ООО «Веза»):

$$K = 21 \left(\frac{L_y \rho}{3600 F_r} \right)^{0,37} w^{0,18}, \quad (5)$$

где F_r — геометрическое сечение теплообменника для прохода воздуха, m^2 ; w — скорость воды в трубах, m/s , равная отношению расхода Q к поперечному сечению трубок. Таким образом, $0,82 = 1 - 0,18$.

При этом значение $NTU_{возд}$ можно в первом приближении принять постоянным, потому что расход воздуха для вентиляции здания определяется санитарной нормой, а его фактические колебания в зависимости от температуры наружного воздуха и скорости ветра значительно менее интенсивны, чем изменение водопотребления, и при этом происходят гораздо медленнее.

В результате вычислений для условий примера, рассмотренного в [13], а именно для одной секции жилого здания серии ПЗ-1/16 в климатических условиях Москвы вместо полученного в [13] значения $k = 0,225$, было найдено значение 0,207. Таким образом, отклонение составляет около 8 %, что в целом лежит в пределах точности инженерных расчетов. А если сравнивать расхождение с полным исходным энергопотреблением в системе вентиляции, которое в относительном выражении принято за единицу, погрешность составит всего $0,225 - 0,207 = 0,018$, т.е. менее двух процентов. И среднее значение коэффициента эффективности по воде k_y , вычисляемое методом Монте-Карло как промежуточная величина, оказывается примерно в такой же степени близким к найденному в [13], а именно 0,831 вместо 0,851 с отклонением около 2 %. Это значение соответствует температуре воды после теплоутилизатора, равной $+20,3$ °C. Таким образом, оценка снижения энергозатрат здания при использовании утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева воды на ГВС по средним показателям за отопительный период корректна и не приводит к существенной погрешности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 7–9.
2. Шарпов В.И. О некоторых аспектах технической политики в теплоснабжении // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. № 5 (85). С. 9–12.
3. Ротов П.В., Орлов М.Е., Шарпов В.И. и др. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплонасосных установок // Промышленная энергетика. 2014. № 7. С. 27–31.
4. Самарин О.Д., Федорченко Ю.Д. Влияние регулирования систем обеспечения микроклимата на качество поддержания внутренних метеопараметров // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 124–128.
5. Pailho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 14. No. 1. Pp. 5–15.
6. Hani A., Koiv T.A. Energy consumption monitoring analysis for residential, educational and public buildings // Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No. 3. Pp. 231–238.
7. Jedinák R. Energy efficiency of building envelopes // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
8. Friess W.A., Rakhshan K., Hendawi T.A. et al. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency // Energy and Buildings. 2012. Vol. 44. Pp. 26–32.
9. Dylewski R., Adamczyk J. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments // Energy and Buildings. 2012. No. 54. Pp. 88–95.
10. Lapinskiene V., Paulauskaite S., Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings // Environmental Engineering : papers of the 8th International Conference. Vilnius, 2011. Pp. 769–775.
11. Дмитриев А.Н., Табунчиков Ю.А., Ковалев И.Н. и др. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М. : АВОК-ПРЕСС, 2005. 120 с.
12. Самарин О.Д. Энергетический баланс гражданских зданий и возможные направления энергосбережения // Жилищное строительство. 2012. № 8. С. 2–4.
13. Самарин О.Д. Влияние утилизации теплоты вытяжного воздуха на повышение энергоэффективности жилых зданий // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2015. № 2. С. 21–23.
14. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31–2 (50). С. 468–474.
15. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003: Издание официальное. М. : Минрегион России, 2012.
16. Исаев С.И., Кожин И.А., Кожанов В.И. и др. Теория теплообмена / под ред. А.И. Леонтьев 2-е изд., испр. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. 683 с.
17. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О требованиях к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 59–66.
18. Староверов И.Г., Шиллер Ю.И. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства : в 3 ч. 4-е изд., испр. и доп. М. : Стройиздат, 1990. Ч. 2. : Водопровод и канализация. 248 с.
19. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. М. : Минстрой России, 1995.
20. Halawa E., Hoof J. van. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview // Energy and Buildings. 2012. Vol. 51. Pp. 101–110.
21. Рымаров А.Г., Лушин К.И. Тепловой режим теплоизолированного трубопровода системы холодного водоснабжения // Строительство: наука и образование. 2012. № 1. Ст. 7.
22. Brunner G. Heat transfer // Supercritical fluid science and technology. 2014. Vol. 5. Pp. 228–263.
23. Horikiri K., Yao Y., Yao J. Modelling conjugate flow and heat transfer in a ventilated room for indoor thermal comfort assessment // Building and Environment. 2014. Vol. 77. Pp. 135–147.
24. Tae Sup Yun, Yeon Jong Jeong, Tong-Seok Han et al. Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes // Energy and Buildings. 2013. Vol. 61. Pp. 125–132.
25. Мацкевич И.П., Свирид Г.П. Высшая математика: Теория вероятностей и математическая статистика. Минск : Вышэйшая школа, 1993. 271 с.

Поступила в редакцию в ноябре 2016 г.

Об авторе: Самарин Олег Дмитриевич — кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, SamarinOD@mgsu.ru, samarin-oleg@mail.ru.

Для цитирования: Самарин О.Д. Учет неравномерности водопотребления в системах утилизации теплоты вытяжного воздуха на нужды горячего водоснабжения // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 3 (102). С. 341–345. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.341-345

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Kolichestvennaya otsenka energoeffektivnosti energosberegayushchikh meroprityatyi [Quantitative Evaluation of Energy Efficiency of Energy Saving Measures]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013, no. 6, pp. 7–9. (In Russian)
2. Sharapov V.I. O nekotorykh aspektakh tekhnicheskoy politiki v teplosnabzhenii [About Certain Aspects of Technical Policy in Heat Supply]. *Energoberezhnie i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment]. 2013, no. 5 (85), pp. 9–12. (In Russian)

3. Rotov P.V., Orlov M.E., Sharapov V.I., Sivukhin A.A. Povyshenie effektivnosti raboty tsentralizovannykh sistem teplosnabzheniya za schet primeneniya teponasosnykh ustanovok [Enhancement of Efficiency of Centralized Heat Supply Systems through Application of Heat Pump Systems]. *Pro-myshlennaya energetika* [Industrial Power Engineering]. 2014, no. 7, pp. 27–31. (In Russian)
4. Samarin O.D., Fedorchenko Yu.D. Vliyanie regulirovaniya sistem obespecheniya mikroklimata na kachestvo podderzhaniya vnutrennikh meteoparametrov [Influence of Adjustment of Microclimate Supporting Systems on Quality of Maintaining of Internal Meteorological Parameters]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 7, pp. 124–128. (In Russian)
5. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. *Sustainable Cities and Society*. 2015, vol. 14, no. 1, pp. 5–15.
6. Hani A., Koiv T.A. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. *Smart Grid and Renewable Energy*. 2012, vol. 3, no. 3, pp. 231–238.
7. Jedinák R. Energy Efficiency of Building Envelopes. *Advanced Materials Research*. 2013, vol. 855, pp. 39–42.
8. Friess W.A., Rakhshan K., Hendawi T.A. et al. Wall Insulation Measures for Residential Villas in Dubai: A Case Study in Energy Efficiency. *Energy and Buildings*. 2012, vol. 44, pp. 26–32.
9. Dylewski R., Adamczyk J. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments. *Energy and Buildings*. 2012, no. 54, pp. 88–95.
10. Lapinskiene V., Paulauskaite S., Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings. *Environmental Engineering : papers of the 8th International Conference*. Vilnius, 2011, pp. 769–775.
11. Dmitriev A.N., Tabunshchikov Yu.A., Kovalev I.N. et al. Rukovodstvo po otsenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v energosberegayushchie meropriyatiya [Guidance on Assessment of Economic Efficiency of Investments in Energy Saving Measures]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2005, 120 p. (In Russian)
12. Samarin O.D. Energeticheskiy balans grazhdanskikh zdaniy i vozmozhnye napravleniya energosberezheniya [Energy Balance of Civil Buildings and Possible Directions of Energy Saving]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012, no. 8, pp. 2–4. (In Russian)
13. Samarin O.D. Vliyanie utilizatsii teploty vytyazhnogo vozdukha na povyshenie energoeffektivnosti zhilykh zdaniy [Impact of Exhaust Air Heat Recovery on Enhancement of Energy Efficiency of Residential Buildings]. *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve* [Installation and Special Works in Construction]. 2015, no. 2, pp. 21–23. (In Russian)
14. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O normirovaniy teplozashchity i trebovaniyakh rashkoda energii na otoplenie i ventilyatsiyu v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» [About the Rate Setting of Heat Insulation and Requirements of Energy Consumption for Heating and Ventilation in the Draft of Updated Edition of SNiP “Buildings Heat Insulation”]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Proceedings of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture Series]. 2013, no. 31–2 (50), pp. 468–474. (In Russian)
15. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003: Izdanie ofitsial'noe [Buildings Heat Insulation. Updated Edition of SNiP 23-02-2003 : Official Edition]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012. (In Russian)
16. Isaev S.I., Kozhinov I.A., Kofanov V.I. et al. Teoriya teplomassoobmena [Heat and Mass Transfer Theory]. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, MG TU im. N.E. Bauman Publ., 1997, 683 p. (In Russian)
17. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O trebovaniyakh k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» [On Requirements for Heat Insulation and Energy Efficiency in the Draft of Updated Edition of SNiP “Buildings Heat Insulation”]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 7, pp. 59–66. (In Russian)
18. Staroverov I.G., Shiller Yu.I. *Spravochnik proektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroystva : v 3-kh chastyakh* [Handbook of Designer. Internal Utility-and-Technical Equipment : in 3 parts]. 4th edition, revised and enlarged. Moscow, Sroizdat Publ., 1990, Ch. 2. : Vodoprovod i kanalizatsiya [Water Supply and Sewerage], 248 p. (In Russian)
19. SP 41-101-95. Proektirovanie teplovykh punktov [SP 41-101-95. Designing of Heat Substations]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 1995. (In Russian)
20. Halawa E., Hoof J. van. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*. 2012, vol. 51, pp. 101–110.
21. Rymarov A.G., Lushin K.I. Teplovoy rezhim teploizolirovannogo truboprovoda sistemy kholodnogo vodosnabzheniya [Thermal Conditions of Heat-Insulated Pipeline of Cold Water Supply System]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction : Science and Education]. 2012, no. 1, article 7. (In Russian)
22. Brunner G. Heat transfer. *Supercritical Fluid Science and Technology*. 2014, vol. 5, pp. 228–263.
23. Horikiri K., Yao Y., Yao J. Modelling conjugate flow and heat transfer in a ventilated room for indoor thermal comfort assessment. *Building and Environment*. 2014, vol. 77, pp. 135–147.
24. Tae Sup Yun, Yeon Jong Jeong, Tong-Seok Han et al. Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. *Energy and Buildings*. 2013, vol. 61, pp. 125–132.
25. Mackevich I.P., Svirid G.P. Vysshaya matematika: Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Higher Mathematics : Probability Theory and Mathematical Statistics]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1993, 271 p. (In Russian)

Received in November, 2016.

About the author: **Samarin Oleg Dmitrievich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SamarinOD@mgsu.ru, samarin-oleg@mail.ru

For citation: Samarin O.D. Uchet neravnomernosti vodopotrebleniya v sistemakh utilizatsii teploty vytyazhnogo vozdukha na nuzhdy goryachego vodosnabzheniya [Accounting for Nonuniformity of Water Consumption in the Exhaust Air Heat Reclamation Systems for Hot Water Supply]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering] 2017, vol. 12, issue 3 (102), pp. 341–345. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.341-345