

Природоохранные технологии в системах жилищно-коммунального хозяйства на Байкальской природной территории

© О.Л. Лавыгина^a, О.А. Гребнева^{a,b}

^aИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

^bИнститут систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме: В связи с последними изменениями природоохранного законодательства все большее внимание уделяется состоянию окружающей среды Байкальской природной территории и факторам негативного воздействия. Цель работы – изучение последствий реконструкции системы теплоснабжения пос. Листвянка Иркутской области, заключающейся в замене водогрейного котла КВа-3,0 Гс/Лж на пеллетный котел «Пиролиз Мастер» промышленной серии PELLET PRO на состояние атмосферного воздуха. Для расчета валовых и максимально-разовых выбросов была использована «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 т пара в час или менее 20 Гкал в час». При этом учитывались такие факторы, как потери тепла от механической неполноты сгорания, теплота сгорания топлива, степень рециркуляции дымовых газов, потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, а также зольность и сернистость используемого топлива. Основным критерием оценки степени негативного воздействия является соотношение концентраций загрязняющих веществ с установленными нормативами предельно-допустимых концентраций. В рамках данного исследования была проведена оценка степени воздействия на атмосферный воздух пос. Листвянка Иркутской области при переходе с мазутного источника теплоснабжения на пеллетный. Результаты показали, что при эксплуатации пеллетного котла в значительной степени снизятся выбросы азота диоксида и серы диоксида.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, природоохранные технологии, охрана атмосферного воздуха, Байкальская природная территория, пеллеты, выбросы

Благодарности: Исследование выполнено по проекту III.17.4.3 программы фундаментальных исследований СО РАН (АААА-А17-117030310437-4).

Информация о статье: Дата поступления 30 октября 2019 г.; дата принятия к печати 25 ноября 2019 г.; дата онлайн-размещения 31 декабря 2019 г.

Для цитирования: Лавыгина О.Л., Гребнева О.А. Природоохранные технологии в системах жилищно-коммунального хозяйства на Байкальской природной территории. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2019;9(4):726–733. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733>

Environmental technologies in the housing and communal service system of the Baikal natural territory

Olga L. Lavygina, Oksana A. Grebneva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract: In connection with the latest changes in environmental legislation, increased attention has been paid to the environmental state of the Baikal natural territory and the factors of negative impact. The current work is aimed at the study of atmospheric air consequences produced by the heat supply system reconstruction in the Listvyanka village, Irkutsk Oblast. This reconstruction involved the substitution of a KVA-3.0 Gs/LH boiler with a Pyrolysis Master pellet boiler of the PELLET PRO industrial series. In order to calculate the gross and maximal-single emissions, the "Procedure of the determining the pollutant emissions into the atmosphere during the combustion of fuel in the boilers of vapour productivity under 30 t/h or 20 Gcal/h" was used. Such factors, as the heat losses from both the mechanical and chemical incompleteness of combustion, the heat of combustion of fuel, the degree of the recirculation of flue gases and

also ash and sulphur content of the utilised fuel were taken into account. The basic criterion for evaluating the degree of negative action involves the correlation of pollutant concentrations with the established norms of the maximum permissible concentrations. Within the framework of the current investigation, the evaluation of the impact on atmospheric air was carried out for the Listvyanka village, Irkutsk Oblast, in the transition from a fuel oil source to a pellet one. It was found that, during operation of a pellet boiler, emissions of nitrogen dioxide and dioxidase were significantly reduced.

Keywords: housing and communal services, environmental technology, protection of atmospheric air, Baikal natural territory pellets, emissions

Acknowledgements: The research was carried out within the project III.17.4.3 of the Fundamental research program of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (AAAA-A17-117030310437-4).

Information about the article: Received October 30, 2019; accepted for publication November 25, 2019; available online December 31, 2019.

For citation: Lavygina OL, Grebneva OA. Environmental technologies in the housing and communal service system of the Baikal natural territory. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2019;9(4):726–733. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733>

Введение

Объекты коммунальной инфраструктуры в процессе их эксплуатации подлежат капитальному ремонту или реконструкции в зависимости от степени их физического и морального износа. При этом существенными факторами, обуславливающими инициирование данных процессов, являются не только технические и материальные, но и экологические аспекты. В центральной экологической зоне в пределах Иркутской области функционирует 45 котельных суммарной мощностью 126 Гкал/ч, из них 28 котельных используют в качестве топлива уголь [1]. Помимо угольных котельных имеются мазутные, а также котельные, использующие дизельное и биодизельное топливо [2], большинство из которых не отвечают современным техническим, эксплуатационным и природоохранным требованиям. Такая картина наблюдается не только на территории Иркутской области, но и на территории Российской Федерации в целом. Ряд проведенных исследований, направленных на исследование жизненного цикла выбросов для угля и горючего сланца, а также жидкого топлива, подтвердили образование при их сжигании выбросов парниковых газов [3], в то время как общемировые тенденции развития систем энергетики направлены на их снижение [4]. Предложенная реконструкция системы теплоснабжения пос. Листвянка Иркутской области, заключающаяся в замене водогрейного котла КВа 3.0 Гс/Лж на Пеллетный котел «Пиролиз Мастер» промышленной серии PELLET PRO, направлена на соблюдение не только технических, но и экологических требований.

При выборе котельных агрегатов для источников в системах теплоснабжения чаще всего отталкиваются:

- от стоимости котла и его комплектующих;
- сроков поставки;
- экономичности – коэффициента полезного действия (КПД) и расхода электроэнергии на обеспечение работы котлов;
- удельной стоимости вырабатываемой тепловой энергии с учетом топливной и амортизационной составляющих;
- глубины регулирования мощности котлов без существенного снижения КПД [8].

Помимо указанных факторов также следует учитывать критерий их экологичности.

Традиционно принято считать, что наиболее экологичными являются источники тепла, использующие в качестве основного оборудования котельные агрегаты, работающие на природном газе [9]. Твердотопливные агрегаты, даже несмотря на химическое циклическое сжигание [10], не всегда отвечают современным экологическим требованиям. Для проведения комплексной оценки степени экологичности проведенного технического перевооружения системы теплоснабжения пос. Листвянка Иркутской области целесообразно провести сравнение выбросов загрязняющих веществ в количественном и качественном соотношениях в период эксплуатации подобранного котельного оборудования.

С целью сравнения необходимо провести расчет валовых (т/г) и максимально-разовых (г/с) выбросов с последующим их рассеиванием в атмосферном воздухе и сопоставлением полученных значений на при-

мере территории детского дошкольного учреждения и побережья оз. Байкал, что и является основной целью данной статьи. Следует отметить, что при сравнении результатов рассеивания целенаправленно проигнорированы выбросы от прочих источников выбросов, которые учтены при установлении нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ), поскольку цель исследования заключается в оценке степени воздействия при эксплуатации различных типов котлов на разных видах топлива (мазуте и пеллетах).

Исходные положения и постановка задачи исследования

Объектом исследования является котельная в пос. Листвянка Иркутской области, состоящая на балансе ООО «УК «Сервис». Состояние компонентов окружающей среды, в частности атмосферного воздуха, является одним из ключевых показателей состояния здоровья населения, о чем свидетельствуют многочисленные исследования. Особые требования предъявляются к территориям, имеющим статус особо охраняемых. Применительно к Байкальской природной территории (БПТ) разработан ряд административных мер, направленных на снижение антропогенной нагрузки, в частности, признание Байкала объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, экологическое зонирование БПТ с установлением специальных правовых режимов в трех зонах: центральной (ЦЭЗ), буферной, атмосферного влияния и т.д. [5], в связи с чем особенную актуальность приобретают мероприятия природоохранного значения, реализуемые на территории центральной экологической зоны оз. Байкал. Повышенные санитарно-гигиенические требования на исследуемой территории обуславливают не только контроль рекреационной, производственной, но и хозяйственной деятельности. Таким образом, область жилищно-коммунального хозяйства, являясь неотъемлемой частью жилой территорий, должна отвечать современным требованиям в области охраны окружающей среды. Загрязнение атмосферного воздуха над акваторией озера, по результатам снегомерных съемок и химико-аналитических работ, отмечается вблизи прибрежных населенных пунктов и в пос. Листвянка. Результаты полевых исследований показывают локальное загрязнение по некоторым элементам и относительно удовлетворительное современное состояние среды, окружающей акваторию оз. Байкал и его водоохраной зоны [6]. Изначально водоохраной зоной Байкала считалась береговая полоса шириной 500 м от уреза воды. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ № 368 от 5.03.2015 г. «Об утверждении границ водоохраной и рыбоохраной зон озера

Байкал» ее внешние границы совместили с границами ЦЭЗ, которая включает оз. Байкал с островами, прилегающую к нему водоохранную зону, а также особо охраняемую прибрежную территорию (ООПТ) [7]. Несмотря на наличие естественных лесных поглотителей на БПТ отмечаются и региональные переносы загрязняющих веществ [11]. Как показывают данные наблюдений, на станции мониторинга «Листвянка» в зимний период наряду с региональными переносами примесей регистрируются кратковременные, но сильные влияния местных источников выбросов [12]. Основным фактором, обуславливающим количественный и качественный состав выбросов является вид и свойства сжигаемого топлива [13]. По мнению некоторых авторов [14], биотопливо обладает высокой эффективностью как топливо прямого сгорания. Процесс сжигания различных видов топлива (мазута и пеллет) предполагает наличие выбросов газовой смеси, содержащей различные виды загрязняющих веществ. При этом их количественное и качественное содержание определяется не только видом топлива, но и конструктивными особенностями котлов. В рамках данного исследования было проведено сравнение «экологической» эффективности котла КВа 3,0 Гс/Лж, работающего на мазутном топливе и котла «Пиролиз Мастер», использующего в качестве топлива пеллеты. При этом была учтена производительность котлов, время их работы, а также относительная нагрузка.

Методика решения задачи определения выбросов в атмосферу

Для расчета валовых и максимально-разовых выбросов на первом этапе была использована «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 т пара в час или менее 20 Гкал в час», рекомендованная АО «НИИ Атмосфера» с целью расчета нормативов предельно допустимых выбросов. При этом учитывались факторы: потери тепла от механической неполноты сгорания, теплота сгорания топлива, степень рециркуляции дымовых газов, потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, а также зольность и сернистость используемого топлива.

На следующем этапе было проведено расчет рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на основании Методики, утвержденной Приказом Минприроды России от 6 июня 2017 г. N 273. Данная методика используется для выполнения расчетов рассеивания выбросов ЗВ в атмосферном воздухе в двухметровом слое над поверхностью Земли. Для этого были определены контрольные точки в наиболее значимых территориях

с позиции требований к качеству атмосферного воздуха, т.е. территория ДООУ Детский сад № 3 и на береговой линии оз. Байкал (исток р. Ангары). Основными показателями, использованными при расчете, являлись высота дымовой трубы, расход и температура газоздушного смеси, расстояние до контрольных точек, показатель рельефа местности, преобладающие направления ветров, а также фоновые концентрации исследуемых загрязняющих веществ.

Таким образом, были получены поля максимальных разовых концентраций, соответствующих сочетанию неблагоприятных метеорологических условий, в том числе, опасной скорости ветра, и неблагоприятных условий выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Следует отметить, что при взаимодействии загрязняющих веществ в атмосферном воздухе наблюдается эффект синергизма, т.е. отмечается усиление действия загрязняющих веществ при их совместном присутствии, что приводит к формированию следующих групп суммации: азота диоксид и оксид, мазутная зола, серы диоксид, а также азота диоксид, серы диоксид. Данные группы суммации так же были проанализированы расчетным методом.

Результаты и их обсуждение

Основным критерием оценки степени негативного воздействия является соотношение концентраций загрязняющих веществ с установленными нормативами предельно-допустимых концентраций. В современных условиях при гигиенической оценке используются следующие показатели загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: по азота диоксиду – 0,2 мг/м³; по азота оксиду – 0,4 мг/м³; серы диоксиду – 0,5 мг/м³; для групп суммации учитывается комбинированное действие смесей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в соответствии с требованиями гигиенических нормативов [15].

На рисунке приведена ситуационная карта-схема исследуемого участка, на которой приведены расчетные точки на границе жилых домов (РТ № 1 и 2), детского дошкольного учреждения (РТ № 3) и на границе акватории оз. Байкал (РТ № 4).

Результаты показали, что реконструкция системы теплоснабжения с заменой мазутного котла на пеллетный приведет к снижению концентрации на территории детского дошкольного учреждения по диоксиду азота на 20%, по диоксиду серы на 88%, по группе суммации, включающей оба компонента – на 47%. Анализ результатов приземных концен-

траций на территории водораздела у истока р. Ангары показал снижение по диоксиду азота на 18%, по диоксиду серы на 85%, по группе суммации, включающей оба компонента – на 42%. Необходимо отметить, что концентрация азота оксида остается на прежнем уровне 0,1 доля ПДК. При этом группа суммации, содержащая Азота диоксид и оксид, мазутную золу, серы диоксид при переходе на пеллетные котлы образовываться не будет.

На основании полученных данных можно сделать вывод о повышении уровня экологической безопасности как для населения пос. Листвянка, так и в отношении БПТ в целом.

В ходе проведенного исследования была доказана и научно обоснована целесообразность реконструкции системы теплоснабжения в пос. Листвянка Иркутской области путем замены мазутного котла на пеллетный с позиции экологической безопасности.

Неотъемлемой частью формирования тарифов на энергетические ресурсы являются так же платежи за выбросы загрязняющих веществ [16], Следовательно, снижение валовых выбросов в атмосферный воздух является неотъемлемым фактором при технико-экономическом обосновании реконструкции рассматриваемой системы теплоснабжения.





Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о повышении уровня экологической безопасности при переходе отопительных систем с мазутного топлива на пеллеты.

Данный факт может послужить основанием или дополнительным аргументом, обосновывающим необходимость реконструкции для предприятий, эксплуатирующих аналогичные отопительные системы. Особенно актуально снижение выбросов на особо охраняемых природных территориях, на территориях рекреационных зон, а также в целом для населенных мест.

Выводы

В связи с последними изменениями природоохранного законодательства все большее внимание уделяется состоянию окружающей среды Байкальской природной территории и факторам негативного воздействия. В рамках данного исследования была проведена оценка степени воздействия на атмосферный воздух пос. Листвянка Иркутской области переход источника теплоснабжения с мазута на пеллеты. Результаты показали, что при выборе в качестве источника системы теплоснабжения пеллетного котельного агрегата снизятся в значительной степени выбросы азота диоксида и серы диоксида.



-  - жилой дом
-  - детское дошкольное учреждение
-  - административное здание
-  - источник выбросов (дымовая труба)

Ситуационная карта-схема с указанием расчетных точек (РТ №1, 2 – на границе жилой застройки; РТ №3 – на границе ДДУ; РТ №4 – на границе акватории оз. Байкал)
Situational map-scheme indicating the calculated points (RT 1, 2 – on the border of residential development, RT 3 – on the border of DDU; RT 4 – on the border of lake Baikal)

Таким образом, реконструкция котельной в пос. Листвянка Иркутской области не только позволит оптимизировать технико-экономические показатели для эксплуатирующей организации (УК «Сервис»), но и приведет к снижению выбросов загрязняющих веществ. Уменьшение значений максимально-разовых выбросов позволит снизить антропогенную нагрузку на акваторию истока р. Ангара, экосистемы в пределах ЦЭЗ, а также снизить степень загрязнений атмосферного воздуха в рекреационной зоне пос. Листвянка. Количественное снижение валовых выбросов приведет к экономии средств эксплуатирующей организации за счет снижения платежей за негативное воздействие в части загрязне-

ния атмосферного воздуха.

В данной статье рассмотрены экологические аспекты перевода источника системы теплоснабжения пос. Листвянка Иркутской области с мазутного топлива на пеллеты. Проведен расчет выбросов загрязняющих веществ для двух вариантов используемого топлива: мазут и на пеллеты. Осуществлен расчет рассеивания загрязняющих веществ. Результаты показали, что при эксплуатации системы теплоснабжения с использованием в качестве источника котельные агрегаты на пеллетах отмечается снижение валовых и максимально-разовых выбросов загрязняющих веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Ижбулдин А.К. Сравнительная эффективность использования природного газа для теплоснабжения потребителей байкальской природной территории // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сб. тр. Восьмой Международной науч.-техн. конф. (г. Благовещенск, 27–29 мая 2015 г.). Благовещенск: Амурский государственный университет, 2015. С. 330.
2. Charitha V, Thirumalini S, Prasad M, Srihari S. Investigation on performance and emissions of RCCI dual fuel combustion on diesel – bio diesel in a light duty engine. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 134. P. 1081–1088.
3. Huairong Zhou, Qingchun Yang, Shun Zhu, Ying Song, Dawei Zhang. Life cycle comparison of greenhouse gas emissions and water consumption for coal and oil shale to liquid fuels. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 144. P. 74–81.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.031>
4. Köne AÇ, Büke T. Factor analysis of projected carbon dioxide emissions according to the IPCC based sustainable emission scenario in Turkey. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 133. P. 914–918.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.099>
5. Гагаринова О.В., Корытный Л.М., Богданов В.Н. Природные и антропогенные факторы проектирования водоохранной зоны озера Байкал // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 374.
6. Belozertseva IA, Vorobyeva IB, Vlasova NV, Lopatina DN, Yanchuk MS. Snow pollution in lake Baikal water area in nearby land areas. *Water resources*. 2017. Vol. 44. № 3. P. 340–353.
<https://doi.org/10.1134/S0097807817030046>
7. Калихман Т.П., Калихман А.Д. Озеро Байкал в природоохранной парадигме // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2017. № 2 (45). С. 24–46.
8. Хан В.В. Разработка и технико-экономическое обоснование мероприятий по повышению энергетической эффективности систем энергопотребления рекреационных объектов Прибайкалья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 4. С. 146–156.
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-4-147-156>
9. Hao Chen, Jingjing He, Xianglin Zhong. *Journal of the Energy Institute*. 2018.
10. J. Adánez, A. Abad, T. Mendiara, P. Gayán, F. García-Labiano. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2018;65:6.
11. Boqiang Lin, Jiamin Ge. *Journal of Cleaner Production*. 2019.
12. Макухин В.Л., Оболкин В.А., Потемкин В.Л. Экстремальные случаи переноса газовых примесей в атмосфере Прибайкалья в зимний период // Биосфера. 2014. № 6 (4). С. 352.
13. Hu Wang, Xumin Zhao, Laihui Tong, Mingfa. *Fuel*. 2018;227:457.
14. Hong Il Choi, Jeong Seop Lee, Jin Won Choi, Ye Sol Shin, Sang Jun Sim. *Bioresource Technology*. 2019;273:341.
15. Хан В.В., Деканова Н.П., Романова Т.А., Шараева С.А. Комплексный анализ эффективности энергосберегающих мероприятий для объектов социальной сферы Восточной Сибири на основе системного подхода // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 84–93.

REFERENCES

1. Ivanova IY, Tuguzova TF, Izhbuldin AK. Comparative efficiency of natural gas for heat supply Baikal natural territory. Energy: management, quality and efficiency of energy resources: proceedings of the Eighth International scientific and technical conference (Blagoveshchensk, 27–29 May 2015). Blagoveshchensk: Amur State University, 2015. P. 330.
2. Charitha V, Thirumalini S, Prasad M, Srihari S. Investigation on performance and emissions of RCCI dual fuel combustion on diesel – bio diesel in a light duty engine. Renewable Energy. 2019;134:1081–1088.
3. Huairong Zhou, Qingchun Yang, Shun Zhu, Ying Song, Dawei Zhang. Life cycle comparison of greenhouse gas emissions and water consumption for coal and oil shale to liquid fuels. Resources, Conservation and Recycling. 2019;144:74–81.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.031>
4. Köne AÇ, Büke T. Factor analysis of projected carbon dioxide emissions according to the IPCC based sustainable emission scenario in Turkey. Renewable Energy. 2019;133:914–918.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.099>
5. Gagarinova OV, Korytnyi LM, Bogdanov VN. Natural and anthropogenic factors of designing the water protection zone of lake Baikal. *Voprosy geografii* = Geography issues. 2018;145:374–390. (In Russ.)
6. Belozertseva IA, Vorobyeva IB, Vlasova NV, Lopatina DN, Yanchuk MS. Snow pollution in lake Baikal water area in nearby land areas. Water resources. 2017. Vol. 44. № 3. P. 340–353.
<https://doi.org/10.1134/S0097807817030046>
7. Kalikhman TP, Kalikhman AD. Lake Baikal in the nature protection paradigm. Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society. 2017;2(45):24–46.
8. Khan VV, Dekanova NP, Romanova TA. Development and technical and economic proof of the events to increase energy effectiveness of the systems of energy consumption of recreational objects of Pribaikalie. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate. 2016;4(19):147–156. (In Russ.)
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-4-147-156>
9. Hao Chen, Jingjing He, Xianglin Zhong. Journal of the Energy Institute. 2018. corrected proof In press.
10. Adánez J, Abad A, Mendiara T, Gayán P, García-Labiano F. Progress in Energy and Combustion Science. 2018;65:6.
11. Boqiang Lin, Jiamin Ge. Journal of Cleaner Production. 2019. In press.
12. Makukhin VL, Obolkin VA, Potiomkin VL. Extreme cases of transfer of gaseous pollutants in the atmosphere near lake Baykal occur in winter. *Biosfera* = Biosphere. 2014;6(4):352.
13. Hu Wang, Xumin Zhao, Laihui Tong, Mingfa. Fuel. 2018.;227:457.
14. Hong Il Choi, Jeong Seop Lee, Jin Won Choi, Ye Sol Shin, Sang Jun Sim. Bioresource Technology. 2019;273:341.
15. Khan VV, Dekanova NP, Romanova TA, Sharaeva SA. Complex analyses of efficiency of energy effectiveness measures for the objects of social sphere in the Eastern Siberia on the basis of system approach. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate. 2017;7(1):84–93. (In Russ.)

Критерии авторства

Лавыгина О.Л., Гребнева О.А. имеют равные авторские права. Лавыгина О.Л. несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contribution

Lavygina O.L., Grebneva O.A. have equal copyrights. Lavygina O.L. bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare about no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Сведения об авторах

Лавыгина Ольга Леонидовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры городского строительства
и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: olgakot81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>

Гребнева Оксана Александровна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры городского строительства
и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130,
Россия,
✉ e-mail: oksana@isem.irk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>

Information about the authors

Olga L. Lavygina,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: olgakot81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>

Oksana A. Grebneva,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Urban Construction
and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Senior Researcher,
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
✉ e-mail: oksana@isem.irk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>