

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ, СНИЖАЮЩИЕ ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД КАНАЛИЗАЦИОННЫМИ СТОКАМИ

Смирнов А. Ф.

ENGINEERING SOLUTIONS REDUCING THERMAL POLLUTION OF WATER WITH SEWER DRAINS

Smirnov A. F.

Аннотация

Рассмотрены мероприятия, снижающие тепловое загрязнение водоемов при выпуске сточных вод, прошедших обработку на очистных сооружениях. Рассмотрено экологическое состояние Невской губы, в которой наблюдаются шлейфы выпусков Юго-Западных очистных сооружений, Северной и Центральной станций аэрации Санкт-Петербурга. Предложено снизить температуру выпускаемых сточных вод путем установки тепловых насосов. Качественные показатели сточных вод при понижении температуры не изменяются. Утилизируемая теплота сточных вод применяется для подогрева теплоносителя систем теплоснабжения (отопления, вентиляции и горячего водоснабжения) до температуры 50–60 °С. Выполнена оценка среднемесячного утилизируемого теплового потока для Северной станции аэрации Санкт-Петербурга.

Применение тепловых насосов для охлаждения выпускаемой воды позволяет исключить тепловые шлейфы в Невской губе. Разность температур выпускаемой воды и окружающих фоновых вод в холодный период года составит не более 8–10 °С.

Ключевые слова: сточные воды, тепловое загрязнение, тепловой насос.

Введение

Тепловое загрязнение вод — загрязнение водоемов в результате поступления теплоты [3]. Повышенная температура воды — один из факторов, влияющих на интенсивность развития водорослей [1].

На экологическое состояние Невской губы оказывают влияние шлейфы выпусков очистных сооружений Санкт-Петербурга [6, 13, 14]. На весенних снимках комплекса авиационных и спутниковых съёмок акватории прослеживаются тепловые шлейфы Юго-Западных очистных сооружений (ЮЗОС), Северной станции аэрации (ССА) и Центральной станции аэрации (ЦСА) (рис. 1, 2). В летний период вследствие незначительной разности температур выпусков и воды в Невской губе тепловые шлейфы не определяются.

Abstract

Measures reducing thermal pollution of water bodies during discharge of treated sewage are considered in the article. The ecological state of the Neva Bay is analyzed, where plumes of discharges from the south-west treatment facilities, northern and central aeration stations in St. Petersburg are observed.

It is suggested to decrease the temperature of sewage discharged using thermal pumps. At temperature decrease, qualitative indicators of sewage do not change. Utilizable heat of sewage is used to heat the heat carrier in heat consumptions (heating, ventilation and hot water supply) systems up to 50–60°C. Average monthly utilizable heat flux for the northern aeration station in St. Petersburg is assessed.

Use of thermal pumps to cool water discharged allows preventing occurrence of thermal plumes in the Neva Bay. The difference between the temperature of water discharged and the temperature of surrounding background waters during cold season will not exceed 8–10°C.

Keywords: sewage, thermal pollution, thermal pump.

В качестве источника низкопотенциальной теплоты для теплоснабжения (на нужды отопления, вентиляции, горячего водоснабжения) могут применяться сточные воды [2, 4–12, 15, 16]. Для возможности утилизации теплоты сточных вод в жилых домах создаются двухтрубные системы отведения сточных вод. Утилизируется теплота сточных вод от ванн, умывальников и кухонных моек. Однако при понижении температуры сточных вод до очистных сооружений, ухудшаются процессы их биологической очистки. В связи с этим целесообразно использовать теплоту биологически очищенных сточных вод перед выпуском в водоем.

Методы и материалы

Предметом исследования приняты выпускаемые в водоем хозяйственно-бытовые и произ-

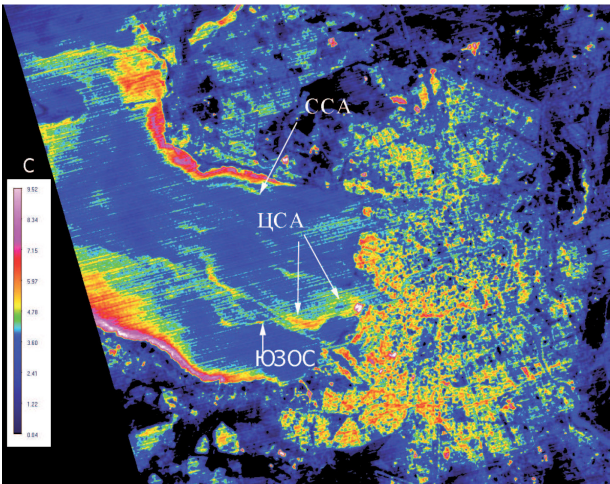


Рис. 1. Данные тепловизионной съемки (29 апреля 2006 г.; [12, 13]) (стрелками указаны выпуски очистных сооружений)

водственные сточные воды после очистных сооружений. Снижение температуры выпускаемых сточных вод может быть обеспечено тепловыми насосами (ТН). Утилизируемая теплота сточных вод может применяться для подогрева теплоносителя систем теплоснабжения до температуры 50–60 °С. При этом качественные показатели сточных вод не изменяются [12].

Задачей исследования является оценка эффективности применения ТН для снижения температуры очищенных стоков Северной станции аэра-

ции (ССА) Санкт-Петербурга с объемом сброса вод около 7,5 м³/с [14]. На рисунке 3 приведена температура выпускных вод в выпускной камере ССА [14]. Даже в самые холодные месяцы года (январь, февраль) температура очищенных стоков равна 19 °С.

Снижение температуры стоков должно производиться до температуры фоновых вод. При температуре воздуха выше температуры кипения хладагента можно приравнять температуру фоновых вод к среднемесячным значениям температуры воздуха. Температура кипения хладагента может быть принята равной плюс 5 °С. Соответственно, температура стоков будет понижена до 8–10 °С.

Результаты исследования и обсуждение

Изменение температуры воды в выпускной камере при применении теплового насоса приведено на рис. 3. Снижение температуры выпускаемой воды составляет от 14,5 до 7,5 °С, что позволяет снизить тепловое загрязнение Невской губы. Получаемый при этом среднемесячный тепловой поток показан на рис. 4.

Применение тепловых насосов для охлаждения выпускаемой воды позволяет исключить тепловые шлейфы в Невской губе. В этом случае разность температур выпускаемой воды

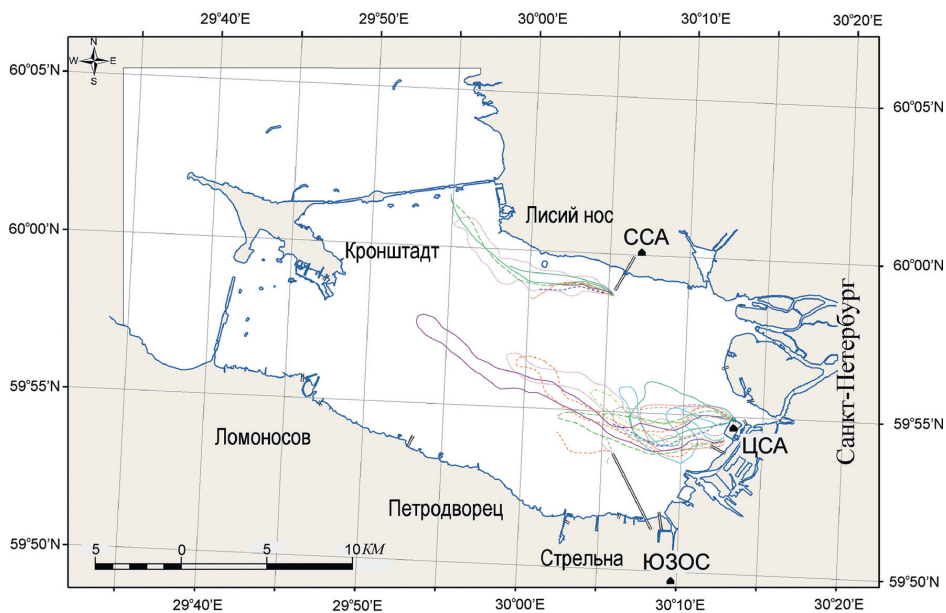


Рис. 2. Тепловые шлейфы очистных сооружений Санкт-Петербурга [13, 14] (различные контуры соответствуют разным датам съемки)

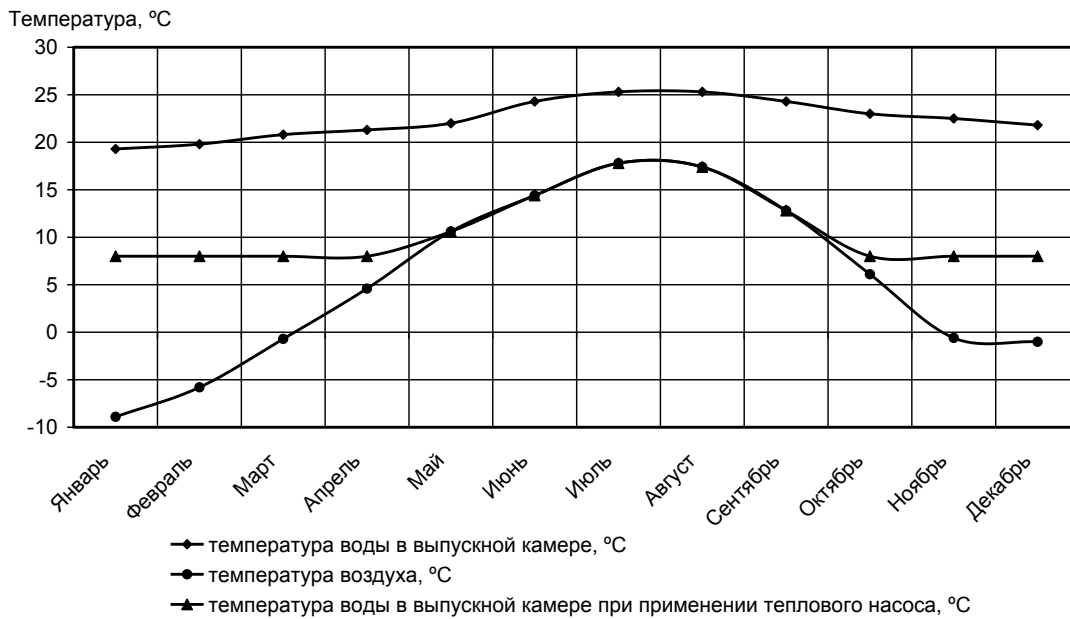


Рис. 3. Температура воды в выпускной камере Северной станции аэрации Санкт-Петербурга и температура наружного воздуха

и фоновых вод в холодный период года составляет не более 8–10 °С.

Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения позволяет утилизировать низкопотенциальную теплоту и снижает загрязнение окружающей среды. Возможны две основные схемы применения теплонасосных установок (ТНУ) для теплоснабжения.

Тепловые насосы используются для предварительного подогрева теплофикационной воды с последующим ее догревом в котельных — при централизованном теплоснабжении, а для зданий с автономным источником — с использованием доводчиков (теплогенераторов на органическом топливе). В этом случае обеспечивается значительная доля тепловых нагрузок при сравнитель-

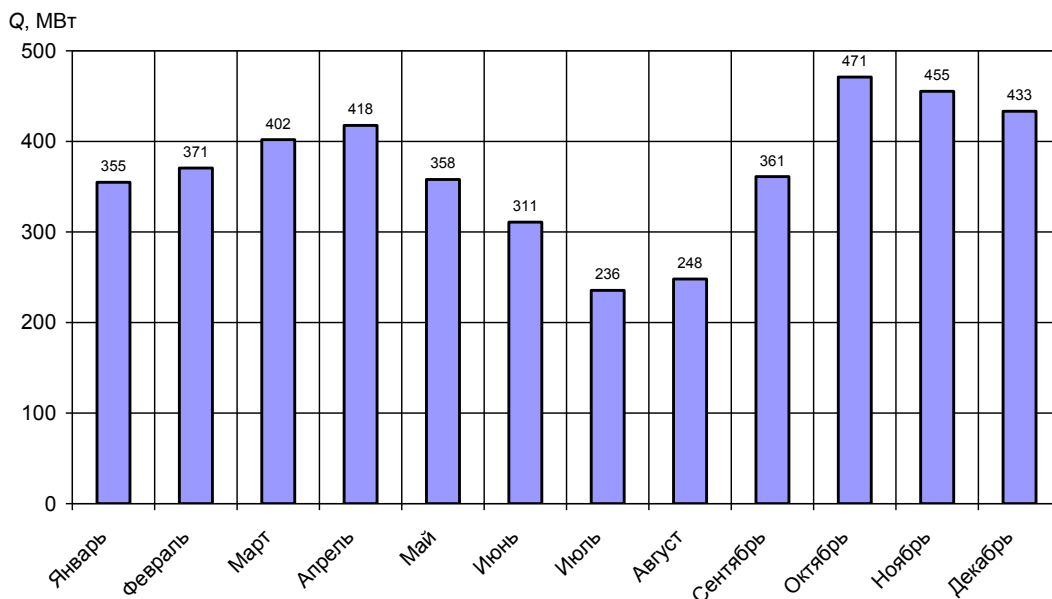


Рис. 4. Среднемесячный утилизируемый тепловой поток

но высоких температурах наружного воздуха. При температурах, близких к расчетной, в связи с увеличением температуры обратной сетевой воды эффективность теплового насоса падает, а в период максимальных нагрузок его использование по данной схеме невозможно. Кроме того, рассматриваемая схема предполагает реконструкцию старых и прокладку новых тепловых сетей, так как источники низкопотенциальной теплоты и источники теплоснабжения находятся, как правило, на значительном расстоянии друг от друга.

Системы отопления и вентиляции переводятся на пониженный график теплоснабжения, что позволяет использовать тепловые насосы для покрытия всех нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение без подогрева воды. Здесь можно отметить два основных недостатка. Во-первых, в течение отопительного периода оборудование теплонасосных станций будет загружаться крайне неравномерно. Это связано как с изменением тепловой нагрузки в зависимости от температуры наружного воздуха, так и с упомянутым выше падением эффективности теплового насоса по мере увеличения температуры обратной сетевой воды. Следовательно, либо тепловые насосы будут частично использоваться в течение краткого периода максимальных нагрузок, либо в этом случае придется прибегать к традиционным источникам теплоты (котельным, ТЭЦ). Во-вторых, на действующих предприятиях потребуется увеличение диаметров труб сетей теплоснабжения или же прокладка дополнительных трубопроводов, а также увеличение теплообменных поверхностей в системах отопления и вентиляции.

Эффективность работы теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования. Зависимость для ориентировочного определения действительного коэффициента преобразования, имеет вид [11]:

$$\varphi = 0,74 \cdot T_{\text{и}} / (T_{\text{к}} - T_{\text{и}}) - (0,0032 \cdot T_{\text{и}} + 0,765 \cdot T_{\text{и}} / T_{\text{к}}) + 0,9, \quad (1)$$

где $T_{\text{и}}$ — температура кипения хладагента, К; $T_{\text{к}}$ — температура конденсации хладагента, К.

При температуре кипения 5 °С и конденсации 50–60 °С коэффициент преобразования будет не менее 3,9÷3,1.

Заключение

1. Применение тепловых насосов для охлаждения выпускаемых в водоемы биологически очищенных сточных вод позволяет снизить тепловое загрязнение водоема. При этом качественные показатели выпускаемых сточных вод не изменяются.

2. Целесообразно создавать местные источники теплоты на основе тепловых насосов. Источники теплоты могут применяться как для нужд очистных сооружений, так и интегрироваться в действующие системы теплоснабжения.

Литература

1. Большаков, В. Н., Качак, В. В., Коберниченко, В. Г., Лобанов, В. И., Островская А. В., Советкин, В. Л., Струкова, Л. В., Тягунов, Г. В., Харлампович, Г. Д., Ходоровская, И. Ю., Шахов, И. С. и Ярошенко, Ю. Г. (2005). Экология. 2-е издание. М.: Логос, 504 с.
2. Васильев, Г. П., Закиров, Д. Г., Абуев, И. М. и Горнов, В. Ф. (2009). О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании. Водоснабжение и канализация, № 7, сс. 50–53.
3. Госстандарт СССР (1977). ГОСТ 17.1.1.01–77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. Москва: Издательство стандартов, 31 с.
4. Данилович, Д. А. (2011). Энергосбережение и альтернативная энергетика на очистных сооружениях канализации. Водоснабжение и санитарная техника, № 1, сс. 9–20.
5. Дидиков, А. Е. (2016). Анализ экономических и экологических аспектов применения тепловых насосов для утилизации низкопотенциального тепла очистных сооружений. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», № 1, сс. 92–98.
6. Малинин, В. Н., Гордеева, С. М., Митина, Ю. В. и Павловский, А. А. (2018). Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе. Вода и экология: проблемы и решения, № 1 (73), сс. 48–58. doi: 10.23968/2305–3488.2018.23.1.48–58.
7. Мартыновский, В. С. (1979). Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. М.: Энергия, 288 с.
8. Поромпка, С. и Махов, Л. М. (2011). Дождевая вода как фактор повышения энергетической эффективности тепловых насосов. Водоснабжение и санитарная техника, № 8, сс. 57–60.
9. Пупырев, Е. И. (2015). Энергоэффективность очистных сооружений. Сантехника, № 1, сс. 24–31.
10. Пухкал, В. А. (1994). Использование тепловых насосов для теплоснабжения. В: Тезисы докладов XXXIV юбилейной НТК ДВГТУ, Владивосток: НТК ДВГТУ, с. 59.
11. Рей, Д. и Макмайл, Д. (1982). Тепловые насосы. М.: Энергоиздат, 224 с.
12. Слесаренко, В. В., Князев, В. В., Вагнер, В. В. и Слесаренко, И. В. (2012). Перспективы применения тепловых насосов при утилизации теплоты городских стоков. Энергосбережение и водоподготовка, № 3 (77), сс. 28–33.

13. Тронин, А. А., Горный, В. И., Груздев, В. Н. и Шилин, Б. В. (2017). Многолетние аэрокосмические наблюдения температуры земной поверхности Северо-Западного региона РФ. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, т. 14, № 6, сс. 73–96.

14. Тронин, А. А. и Шилин, Б. В. (2008). Мониторинг шлейфов городских очистных сооружений Санкт-Петербурга аэрокосмической тепловой съёмкой. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. № 5, т. 2, сс. 586–594.

15. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (2015). ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М.: Бюро НДТ, 377 с.

16. Чаплыгин, В. А. (2018). Опыт применения тепловых насосов в муниципальных энергосистемах Ленинградской области. СОК. № 3. [online] Доступно по ссылке: <https://www.c-o-k.ru/articles/opyt-primeneniya-teplovyyh-nasosov-v-municipalnyh-energосistemah-leningsradskoy-oblasti> [дата обращения: 23.11.2018].

References

1. Bolshakov, V. N., Kachak, V. V., Kobernichenko, V. G., Lobanov, V. I., Ostrovskaya, A. V., Sovetkin, V. L., Strukova, L. V., Tygunov, G. V., Kharlampovich, G. D., Khodorovskaya, I. Yu., Shakhov, I. S. and Yaroshenko, Yu. G. (2005). *Ekologiya [Ecology]*. 2nd revision. Moscow: Logos, 504 p. (in Russian).

2. Vasilyev, G. P., Zakirov, D. G., Abuyev, I. M. and Gornov, V. F. (2009). O teplovom resurse stochnykh vod i ego ispolzovanii [Concerning thermal resource of sewage and its use]. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*, No. 7, pp. 50–53 (in Russian).

3. Gosstandart of the USSR (1977). *GOST 17.1.1.01–77. Okhrana prirody. Gidrosfera. Ispolzovaniye i okhrana vod. Osnovnye terminy i opredeleniya [State Standard GOST 17.1.1.01–77. Nature protection. Hydrosphere. Utilization of water and water protection. Basic terms and definitions]*. Moscow: Publishing House of Standards, 31 p. (in Russian).

4. Danilovich, D. A. (2011). Energoberezheniye i alternativnaya energetika na ochistnykh sooruzheniyakh kanalizatsii [Energy conservation and alternative power sources at the wastewater treatment facilities]. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 1, pp. 9–20 (in Russian).

5. Didikov, A. E. (2016). Analiz ekonomicheskikh i ekologicheskikh aspektov primeneniya teplovyykh nasosov dlya utilizatsii nizkopotentsialnogo tepla ochistnykh sooruzheniy [Analysis of economic and environmental aspects of the use of heat pumps for disposal of low-grade heat treatment facilities]. *Scientific Journal NRU ITMO. Series "Economics and Environmental Management"*, No. 1, pp. 92–98 (in Russian).

6. Malinin, V. N., Gordeeva, S. M., Mitina, Iu. V., and Pavlovsky, A. A. (2018). Negativnye posledstviya shtormovykh nagonov i "vekovogo" rosta urovnya v Nevskoy gube [The negative consequences of storm surges and the "age-old" level rise in the Neva Bay]. *Water and Ecology*, No 1 (73), pp. 48–58. doi: 10.23968/2305–3488.2018.23.1.48–58. (in Russian).

7. Martynovsky, V. S. (1979). *Tsikly, skhemy i kharakteristiki termotransformatorov [Cycles, schemes and characteristics of thermotransformers]*. Moscow: Energiya, 288 p. (in Russian).

8. Porompka, S. and Makhov, L. M. (2011). Dozhdevaya voda kak faktor povysheniya energeticheskoy effektivnosti teplovyykh nasosov [Rain water as a factor of enhancement of power efficiency of heat pumps]. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 8, pp. 57–60 (in Russian).

9. Pupyrev, E. I. (2015). Energoeffektivnost ochistnykh sooruzheniy [Energy efficiency of treatment facilities]. *Santekhnika*, No. 1, pp. 24–31 (in Russian).

10. Pukhkal, V. A. (1994). Ispolzovaniye teplovyykh nasosov dlya teplosnabzheniya [Use of thermal pumps for heat supply]. In: *Tezisy dokladov XXXIV yubileynoy NTK DVG TU [Abstracts of the XXXIV anniversary Scientific and Practical Conference of the Far Eastern Federal University]*, Vladivostok: Far Eastern Federal University, pp. 59 (in Russian).

11. Reay, D. and MacMichael, D. (1982). *Teplovyye nasosy. [Heat pumps]*. Moscow: Energoizdat, 224 p. (in Russian).

12. Slesarenko, V. V., Knyazev, V. V., Wagner, V. V. and Slesarenko, I. V. (2012). Perspektivy primeneniya teplovyykh nasosov pri utilizatsii teploty gorodskikh stokov [Prospects of using heat pumps when utilizing heat of municipal wastewater]. *Energysaving and Watertreatment*, No. 3 (77), pp. 28–33 (in Russian).

13. Tronin, A. A., Gornyy, V. I., Gruzdev, V. N. and Shilin, B. V. (2017). Mnogoletnie aerokosmicheskie nablyudeniya temperatury zemnoy poverhnosti Severo-Zapadnogo regiona RF [Long-term remote observations of land surface temperature of the North-Western region of Russia]. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, vol. 14, No. 6, pp. 73–96 (in Russian).

14. Tronin, A. A. and Shilin, B. V. (2008). Monitoring shleyfov gorodskikh ochistnykh sooruzheniy Sankt-Peterburga aerokosmicheskoy teplovy syomkoy [Monitoring plumes from urban treatment facilities of St. Petersburg by means of thermal GPS survey]. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, issue 5, vol. 2, pp. 586–594 (in Russian).

15. Federal Agency on Technical Regulation and Metrology (2015). ITS 10-2015. Ochistka stochnykh vod s ispolzovaniyem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskikh okrugov [Information and technical reference book ITS 10-2015. Wastewater treatment using centralized water disposal systems of settlements, urban districts]. Moscow: Byuro NDT, 377 p. (in Russian).

16. Chaplygin, V. A. (2018). Opyt primeneniya teplovyykh nasosov v municipalnykh energосistemakh Leningradskoy oblasti [Experience in application of heat pumps in municipal power supply systems of the Leningrad Region]. Available at: <https://www.c-o-k.ru/articles/opyt-primeneniya-teplovyyh-nasosov-v-municipalnyh-energосistemah-leningsradskoy-oblasti> (in Russian).

Авторы

Смирнов Анатолий Филиппович, канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: saf7042@mail.ru

Authors

Smirnov Anatolij Filippovich, Ph. D. in Engineering, Associate Professor

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia
E-mail: saf7042@mail.ru