



УДК 62-69

Д.В. Петросова, Т.И. Спиридонова, И.А. Дуванова

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕПЛОВОЙ НАСОС С ВЕРТИКАЛЬНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ

D.V. Petrosova, T.I. Spiridonova, I.A. Duvanova

ALTERNATIVE VIEW ON HEAT PUMP WITH VERTICAL COLLECTOR

На российском рынке теплотехники все большую популярность приобретают тепловые насосы, уже успешно зарекомендовавшие себя за рубежом. Возникает вопрос об эффективности теплового насоса и о возможности применения на практике более выгодных вариантов. В статье произведено сравнение теплового насоса с пеллетным комбо-бойлером, которое позволило оценить с альтернативной точки зрения целесообразность использования теплового насоса с вертикальным коллектором в условиях Ленинградской области.

ТЕПЛОТЕХНИКА; ТЕПЛОВОЙ НАСОС; ПЕЛЛЕТНЫЙ КОМБО-БОЙЛЕР; ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ; ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ; ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ; СРОК ОКУПАЕМОСТИ.

Day by day thermal pumps get increasing popularity in the Russian market of thermotechnics. Thermal pumps have already successfully proved its efficiency abroad. But efficiency of geothermal heat pump with vertical collector in Russian conditions (Leningrad area) has questioned. Therefore, authors have reviewed a possibility of applying more favorable options in practice.

HEATING ENGINEERING; HEAT PUMP; PELLET COMBO-BOILER; ENERGY EFFICIENCY; ENERGY SAVING; LIFE CYCLE; PAYBACK PERIOD.

В настоящее время, к сожалению, не во всех населенных пунктах Ленинградской области есть широкий выбор источников энергии. В связи с этим обстоятельством на российском рынке теплотехники все большую популярность набирают тепловые насосы, которые уже успешно зарекомендовали себя в таких европейских странах, как Германия, Финляндия, Швеция.

Производители знают, в чем заинтересованы потребители, имеющие индивидуальные загородные дома (в нашем случае — жители Ленинградской области):

в низких затратах на оборудование и эксплуатацию;

в экологической безопасности установки;

в пожарной безопасности;

в длительном сроке службы установки;

в многофункциональности установки (отопление помещений и нагрев воды).

Обобщая, можно сказать, что потребитель заинтересован в комплексно-эффективной уста-

новке. Такой установкой, по убеждениям многих производителей, является тепловой насос.

Тепловой насос — устройство, осуществляющее нагрев воды в системе водоснабжения и теплоносителя в системе отопления за счет преобразования энергии, полученной из окружающей среды [9, 10].

Возникает вопрос: действительно ли тепловой насос так эффективен, как об этом заявляют производители, или же можно подобрать более выгодные варианты. В нашей статье произведено сравнение теплового насоса с функционально-схожим пеллетным комбо-котлом.

Обзор иностранной и отечественной литературы

Уже более десяти лет ученые и инженеры-практики занимаются разработками в области теплотехники для индивидуального жилищного строительства [1, 5–7]. Один из самых широких обзоров тепловых насосов представлен авторами K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang [13]. Более по-

дробно рассмотрели геотермальные тепловые насосы Л. Милова [2], В. Райх [3], В. Кутилов [4].

В работе Н. Кайдаловой и В. Крюкова [8] сделано принципиальное сравнение теплового насоса и комбо-бойлера для практического применения на территории Финляндии. Они установили, что тепловой насос оказался более выгодным вариантом, чем другие установки.

В [9, 10] авторы сделали предположение о невыгодности использования геотермального теплового насоса на различных территориях в России по климатическим и экономическим соображениям.

Несмотря на то, что в научной литературе имеется большое разнообразие публикаций по теплотехнике [11, 12], ни в одной из них не была произведена независимая сравнительная оценка тепловых установок применительно к территории Ленинградской области.

Постановка задачи

Цель исследования — выявление наиболее оптимальной установки для условной модели загородного дома.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) произвести сравнительный анализ теплового насоса и пеллетного комбо-котла по техническим характеристикам;
- 2) выполнить экономический анализ жизненного цикла обеих установок.

Описание исследования

Исходные данные. Условная модель представляет собой двухэтажный загородный дом площадью 200 м² и объемом 600 м³, расположенный в окрестностях Санкт-Петербурга в радиусе до 50 км от границы города. Площадь участка 288 м² (2,9–3 соток). Количество жильцов — четыре. Расчетные теплотери здания составляют 15,2 кВт.

Представлены к рассмотрению две тепловые установки: пеллетный комбо-бойлер мощностью 20 кВт с коэффициентом полезного действия $\eta = 90\%$ и геотермальный тепловой насос с вертикальным коллектором мощностью 8,2 кВт и коэффициентом преобразования теплового насоса $COP=2,5$.

Выбор установок с учетом климатических и практических условий

Тепловой насос. На современном рынке теплотехнической продукции тепловой насос представлен в широком ассортименте в зависимости от источника энергии [2, 14]. По результатам сравнения, отраженного в таблице, для исследования утверджен именно геотермальный тепловой насос замкнутого типа. В свою очередь, он может быть представлен в четырех вариантах: с горизонтальным и вертикальным коллектором, водным коллектором и с непо-

Типы тепловых насосов в зависимости от источников энергии

Источники энергии		Тепловые насосы
Воздух	–	Климатические условия существенно отличаются от среднеевропейских. Например, интегральная характеристика D'_d отопительного периода для Санкт-Петербурга составляет $D'_d = (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) T_{\text{от}} = (20 - (-1,8)) 220 = 4796$ °С сут., в то время как для Дании — 2779 °С сут., Германии — 3163 °С сут. [9, 10]. По этим характеристикам судят о производительности теплового насоса: чем больше число D'_d у рассматриваемой территории, тем менее выгодно устанавливать там тепловой насос [14]
Грунт	+	Обычно дополняется умеренным использованием электроэнергии. При этом применение только электроэнергии необходимо при наружных температурах ниже –25 °С. При более высоких температурах (от +10 °С) используется режим автономной работы
Грунтовые воды	–	Нет гарантии, что в условиях той или иной местности будут обеспечены необходимый объем и качество грунтовых вод. Условия эксплуатации усложняются тем, что температура грунтовых вод должна быть не ниже +7 °С, а это невозможно в климатических условиях Ленинградской области [23]

средственным теплообменом. Недостаток горизонтального коллектора — распределение труб кольцами или по кривой гармонической траектории в подземном слое занимает от трети до половины рассматриваемого участка в зависимости от мощности и исключает возможность распространения сельскохозяйственных культур на поверхности земли непосредственно над коллектором. В связи с ограниченными по площади условиями использование вертикального коллектора более целесообразно.

Пеллетный комбо-бойлер. На рис. 1 приведены данные о средней стоимости топлива.

Наряду с энергией грунта, твердое топливо (пеллеты) и централизованный газ — самые недорогие виды источников энергии, соответствующие поставленной задаче как в экономическом, так и в экологическом планах.

В сравнении, производимом в данной статье, не рассматривается применение магистрального газа, несмотря на то, что стоимость и происхождение ресурса «говорят сами за себя». Точное расположение объекта условной модели неизвестно, а от этого фактора существенно зависит стоимость прокладки газопровода к населенному пункту. Более того, в нашем исследовании делается основной акцент на максимальную автономность установки, а прокладка газопровода делает обитателей дома зависимыми от магистральной сети.

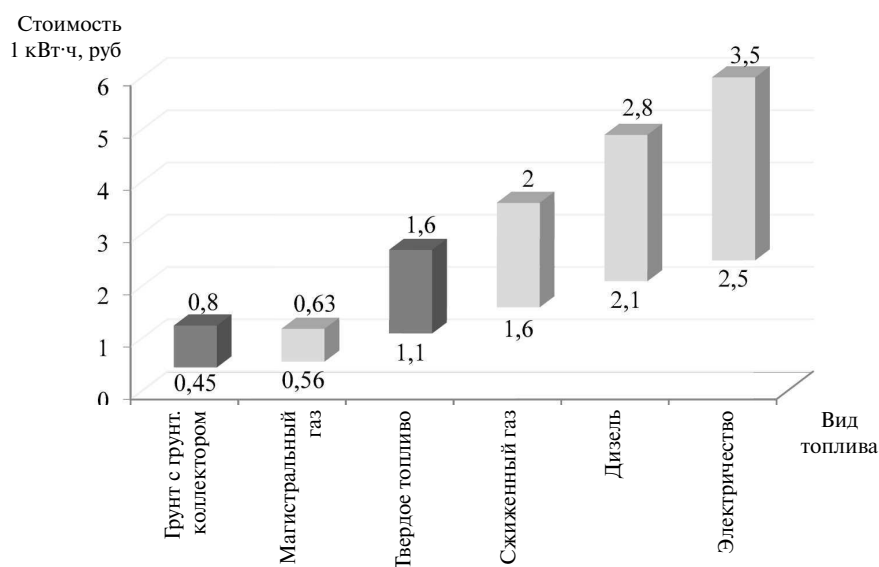


Рис. 1. Стоимость 1 кВт·ч [9, 10]

Экономический анализ

Капитальные затраты (рис. 2):
для пеллетного комбо-бойлера:

$$C_{\text{пб}} = c_1 + c_2 + c_3 = \\ = 130000 + 18000 + 19500 = 167500 \text{ руб.} = \\ = 3722 \text{ €},$$

где c_1 — стоимость бойлера; c_2 — стоимость бункера для хранения пеллет; c_3 — стоимость установки (15 % от стоимости бойлера);

для геотермального теплового насоса с вертикальным коллектором

$$C_{\text{гтн}} = c_a + c_b + c_c = \\ = 498508 + 74776 + 240000 = 813284 \text{ руб.} = \\ = 18073 \text{ €}.$$

Здесь c_a — стоимость теплового насоса (включая среднюю стоимость доставки или покупку на вторичном рынке с учетом НДС = 18 %); c_b — стоимость установки (15 % от стоимости установки); c_c — общая стоимость теплообменника (4 вертикальных шпура, углубленных в грунт на 60 метров).

Эксплуатационные затраты (рис. 3):
для пеллетного комбо-бойлера

$$O_{\text{пб}} = m + c_f = \\ = 5025 + 60000 = 65025 \text{ руб.} = 1327 \text{ €}.$$

где m — эксплуатационные расходы (3 % от капитальных затрат); c_f — стоимость топлива в год,

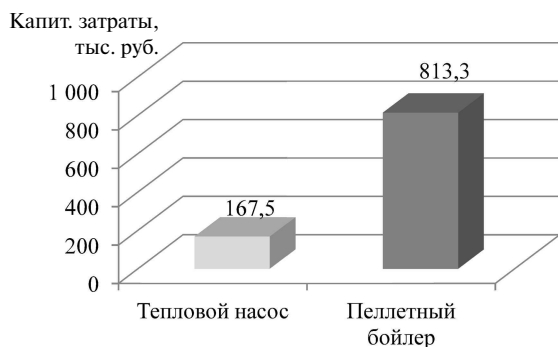


Рис. 2. Капитальные затраты

$$c_f = c_p \times z_p = 6000 \times 10 = 60000 \text{ руб.} = 1225 \text{ €},$$

c_p — стоимость пеллет за одну тонну; z_p — средний годовой объем затрачиваемого топлива;

для геотермального теплового насоса с вертикальным коллектором

$$O_{г.т.н.} = m + c_e = 24398 + 17200 = 41598 \text{ руб.} = 849 \text{ €}.$$

где c_e — стоимость электричества за год,

$$c_e = \frac{Q_a \times p_e}{\eta_v} = \frac{20000 \times 2,15}{2,5} = 17200 \text{ руб} = 351 \text{ €};$$

Q_a — годовое потребление энергии; p_e — средняя стоимость потребления электроэнергии; η_v — коэффициент преобразования теплового насоса (COP).

Длительность жизненного цикла установки и связь с суммарными затратами. На рис. 4 представлен график линейной зависимости суммарных затрат от времени эксплуатации рассматриваемых установок.

На рис. 4 проиллюстрирован прогноз продолжительности функционирования теплового

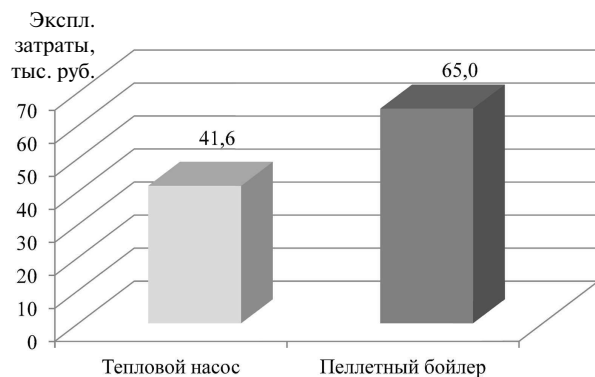


Рис. 3. Эксплуатационные затраты

насоса и пеллетного комбо-бойлера. В среднем жизненный цикл теплового насоса составляет 15 лет [9, 13]. Важно обратить внимание на разницу в суммарных затратах. Если на первом году эксплуатации она незначительна и оценивается в 25 тыс. рублей (510 €), то на конец пятнадцатого года использования разница увеличится почти в 15 раз. В результате итоговые потери могут оказаться серьезными для среднестатистических семей, проживающих в Ленинградской области, годовой доход которых составляет (по данным Федеральной службы государственной статистики за 2013 год) 712 320 тыс. рублей (14 537 €).

Геотермальный тепловой насос, как и пеллетный комбо-бойлер, вполне универсальны при эксплуатации в Ленинградской области. Обычно работа насоса дополняется умеренным использованием электроэнергии. При этом применение только электроэнергии необходимо при наружных температурах ниже -25°C . При более высоких температурах (от переходной $+10^\circ\text{C}$ и выше) используется режим автономной работы. С другой стороны, использование электричества в работе пеллетного комбо-бойлера необходимо прежде всего для осуществления автоматизации процесса работы (подача пеллет из бункера и др.).

Существует теория о том, что тепловые насосы используют низкопотенциальную энергию грунта, и в процессе эксплуатации насоса потенциал грунтового массива уменьшается [22]. Ставится под сомнение полноценная пригодность таких земель для использования в сельскохозяйственных целях через 15 лет эксплуатации насоса, ибо может быть нарушен местный баланс экосистем.

Тепловой насос с вертикальным коллектором и пеллетный комбо-бойлер так или иначе нуждаются в электрической энергии:

в случае использования пеллетного комбо-бойлера электричество обеспечивает автономную работу;

при использовании теплового насоса обеспечивается бесперебойная работа.

Жизненный цикл пеллетного комбо-бойлера намного (более чем на 10 лет) продолжительнее, чем у теплового насоса.

Установка, ремонт и обслуживание установки пеллетного комбо-бойлера проще, чем у теплового насоса, так как она автоматизирована и все ее элементы находятся на поверхности земли.

Потребитель должен оценить предстоящие затраты на установку и эксплуатацию оборудования и сравнить возможные варианты затрат на примере представленного в статье расчета.

Потребителям следует принять во внимание то, что более 85 % производителей тепловых насосов находятся в странах Европейского Союза, а именно в Великобритании, Голландии, Польше, Швеции, Финляндии, Германии, и др.

Стоимость теплового насоса в России возрастает прямопропорционально расстоянию, а следовательно, и стоимости доставки. Есть предположение, что в будущем ситуация на российском рынке теплотехники в области производства тепловых насосов изменится в лучшую сторону, и тогда капитальные затраты на тепловой насос станут значительно ниже, что будет более благоприятно сказываться на потребительском спросе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабич А.С., Сотникова О.А., Головинский П.А.** Аккумулирование теплоты в геологических системах теплоснабжения с тепловыми насосами // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 1. С. 50–57.
2. **Милова Л.** Геотермальные тепловые насосы. Обзор рынка // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. № 10 (130). С. 34–39.
3. **Райх В.** Геотермальные тепловые насосы // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 1 (109). С. 80–83.
4. **Кутилов В.** Геотермальные тепловые насосы // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. № 6 (126). С. 58–61.
5. **Почекун П.С., Гульков А.Н.** Особенности теплоснабжения с использованием геотермальных тепловых насосов // Вологдинские чтения. 2003. № 37. С. 49–51.
6. **Бызов А.П.** Оценка вероятности поражения человека тепловым излучением с учетом перемещения в безопасную зону // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 3(130). С. 247–252.
7. **Кондратьева Е.А., Кондратьев А.А., Сергеев В.В., Симонов А.М.** Выбор параметров тепловых насосов с центробежными компрессорами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 4(183), Т. 1. С. 128–135.
8. **Kaydalova N., Kryukov V.** Comparison of heat pump system and boiler plant for one-family house. Heat sources in one-family house / Thesis of Mikkeli University of applied Sciences. Building Services Engineering. 2010. P. 1–43.
9. **Спиридонова Т.И., Курасова Е.В., Дуванова И.А., Вилинская А.О.** Эффективная тепловая установка для загородного дома северо-западного региона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №7(12). С. 124–132.
10. **Spiridonova T.I., Kurasova E.V., Duvanova I.A., Vilinskaya A.O.** Energy efficiency heating installation of country house in Northern-western region // Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. №7 (12). P. 133–140.
11. **Morten B. Clarke.** Towards an intermittency-friendly energy system: Comparing electric boilers and heat pumps in distributed cogeneration // Applied Energy. Vol.91. Issue 1. 2012. Pp. 349–365.
12. **Daniel Setrak Sowmya, Racine T.A. Prado.** Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters // Energy and Buildings. Vol. 40. Issue 12. 2008. Pp. 2128–2132.
13. **Chua K.J., Chou S.K., Yang W.M.** Advances in heat pump systems: A review // Applied Energy. 2010. Vol. 10. Pp. 3612–3622.
14. **Семёнов Б.А., Соловьев В.А.** Проблемы и особенности использования грунтовых тепловых насосов для автономного теплоснабжения объектов в центральных регионах России // Вестник СГТУ. 2009. №1. С. 167–172.
15. **Недвиг П.Н.** Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 11–14.
16. **Feng Li, Guozhong Zheng, Zhe Tia.** Optimal operation strategy of the hybrid heating system composed of centrifugal heat pumps and gas boilers // Energy and Buildings. Vol. 58. 2013. Pp. 27–36.
17. **Hepbasli A, Balta MT.** A study on modeling and performance assessment of a heat pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings // Building Environment. 2007. №42 (10). Pp. 3747–56.
18. **Long J.Y., Zhu D.S.** Numerical and experimental study on heat pump waterheater with PCM for thermal storage // Energy Buildings. 2008. №40(4). Pp. 666–72.
19. **Бутузов В.А.** Перспективы применения тепловых насосов // Промышленная энергетика. 2005. № 10. С. 8–15.
20. **Калинин М.И., Кудрявцев Е.П., Баранов А.В.** Методы расчета и рекомендации по эффективному использованию приповерхностных геотермальных ресурсов в центральных регионах России // Новости теплоснабжения. 2007. № 10. С. 26–33.
21. **Комитет по природным ресурсам Ленинградской области [электронный ресурс] <http://www.nature.lenobl.ru/> (дата обращения 13.03.2014)**

22. **Штым А.С., Журмилова И.А., Савина Т.Г.** Восстановление энергетического потенциала системы теплосбора геотермальных тепловых насосов //

Вологодские чтения. 2012. № 80. С. 51–53.

23. **СНиП 23–01–99***. Строительная климатология.

REFERENCES

- Babich A.S., Sotnikova O.A., Golovinskiy P.A.** Akkumulirovaniye teploty v geliogruntovykh sistemakh teplosnabzheniya s teplovymi nasosami. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura*. 2009. № 1. S. 50–57. (rus.)
- Milova L.** Geotermalnyye teplovyye nasosy. Obzor rynka. *Santekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye*. 2012. № 10 (130). S. 34–39. (rus.)
- Raykh V.** Geotermalnyye teplovyye nasosy. *Santekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye*. 2011. № 1 (109). S. 80–83. (rus.)
- Kutilov V.** Geotermalnyye teplovyye nasosy. *Santekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye*. 2012. № 6 (126). S. 58–61. (rus.)
- Pochekuni P.S., Gulkov A.N.** Osobennosti teplosnabzheniya s ispolzovaniyem geotermalnykh teplovykh nasosov. *Vologdinskiye chteniya*. 2003. № 37. S. 49–51. (rus.)
- Byzov A.P.** Otsenka veroyatnosti porazheniya cheloveka teplovym izlucheniym s uchetom peremeshcheniya v bezopasnuyu zonu. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2011. № 3(130). S. 247–252. (rus.)
- Kondratyeva Ye.A., Kondratyev A.A., Sergeev V.V., Simonov A.M.** Vybor parametrov teplovykh nasosov s tsestrobezhnymi kompressorami. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2013. № 4(183), T. 1. S. 128–135. (rus.)
- Kaydalova N., Kryukov V.** Comparison of heat pump system and boiler plant for one-family house. Heat sources in one-family house. *Thesis of Mikkeli University of applied Sciences. Building Services Engineering*. 2010. P. 1–43.
- Spiridonova T.I., Kurasova Ye.V., Duvanova I.A., Vilinskaya A.O.** Effektivnaya teplovaya ustanovka dlya zagorodnogo doma severo-zapadnogo regiona. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2013. №7(12). S. 124–132. (rus.)
- Spiridonova T.I., Kurasova E.V., Duvanova I.A., Vilinskaya A.O.** Energy efficiency heating installation of country house in Northern-western region. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. №7 (12). P. 133–140.
- Morten B. Blarke.** Towards an intermittency-friendly energy system: Comparing electric boilers and heat pumps in distributed cogeneration. *Applied Energy*. Vol. 91. Issue 1. 2012. P. 349–365.
- Daniel Setrak Sowmya, Racine T.A. Prado.** Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters. *Energy and Buildings*. Vol. 40. Issue 12. 2008. Pp. 2128–2132.
- Chua K.J., Chou S.K., Yang W.M.** Advances in heat pump systems: A review // *Applied Energy*. 2010. Vol. 10. Pp. 3612–3622.
- Semenov B.A., Solovyev V.A.** Problemy i osobennosti ispolzovaniya gruntovykh teplovykh nasosov dlya avtonomnogo teplosnabzheniya obyektov v tsestralnykh regionakh Rossii. *Vestnik SGTU*. 2009. №1. S. 167–172.
- Nedviga P.N.** Vozmozhnosti ispolzovaniya teplovykh akkumulyatorov i nizkopotentsialnogo tepla zemli pri otoplenii individualnykh domov. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2010. №3. S. 11–14.
- Feng Li, Guozhong Zheng, Zhe Tia.** Optimal operation strategy of the hybrid heating system composed of centrifugal heat pumps and gas boilers. *Energy and Buildings*. Vol. 58. 2013. Pp. 27–36.
- Hepbasli A., Balta M.T.** A study on modeling and performance assessment of a heat pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings. *Building Environment*. 2007. №42 (10). Pp. 3747–56.
- Long J.Y., Zhu D.S.** Numerical and experimental study on heat pump waterheater with PCM for thermal storage. *Energy Buildings*. 2008. №40(4). Pp. 666–72.
- Butuzov V.A.** Perspektivy primeneniya teplovykh nasosov. *Promyshlennaya energetika*. 2005. № 10. S. 8–15. (rus.)
- Kalinin M.I., Kudryavtsev Ye.P., Baranov A.V.** Metody rascheta i rekomendatsii po effektivnomu ispolzovaniyu pripoverkhnostnykh geotermalnykh resursov v tsestralnykh regionakh Rossii. *Novosti teplosnabzheniya*. 2007. № 10. S. 26–33. (rus.)
- Komitet po prirodnykh resursam Leningradskoy oblasti [elektronnyy resurs] <http://www.nature.lenobl.ru/> (data obrashcheniya 13.03.2014) (rus.)
- Shtym A.S., Zhurmiлова I.A., Savina T.G.** Vostanovleniye energeticheskogo potentsiala sistemy teplosbora geotermalnykh teplovykh nasosov. *Vologdinskiye chteniya*. 2012. № 80. S. 51–53. (rus.)
- СНиП 23–01–99***. Stroitel'naya klimatologiya.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОСОВА Дарья Владимировна — кандидат технических наук старший преподаватель кафедры гидравлики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: d_kuzmenko@list.ru

СПИРИДОНОВА Татьяна Игоревна — студент кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: spiridonova-mail@yandex.ru

ДУВАНОВА Ирина Александровна — студент кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: duvanova.i@mail.ru

AUTHORS

PETROSOVA Darya V. — St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: d_kuzmenko@list.ru

SPIRIDONOVA Tatiana I. — St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: spiridonova-mail@yandex.ru

DUVANOVA Irina A. — St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: duvanova.i@mail.ru