

DOI: 10.18721/JEST.24411
УДК 696:697

О.В. Аверьянова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЙ С ЕДИНЫМ КОНТУРОМ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В статье приведена методика расчета годового энергопотребления крупного объекта с тепловыми насосами, включенными в единый контур, и предложена карта районирования по потенциалу их применения. Рассмотрены традиционная система с приборами отопления и вентиляторными доводчиками и перспективная система с тепловыми насосами, включенными в единый водяной контур. Приведено описание алгоритма расчета энергопотребления этих систем. На основе этой методики рассчитан коэффициент относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплонасосных установок для Российской Федерации и составлена карта районирования по потенциалу их применения. Дан анализ энергоэффективности системы с тепловыми насосами, включенными в единый водяной контур, на примере торгово-развлекательного центра. Предлагаемая методика и карта районирования применимы для расчетов годового энергопотребления для инженерных сетей с единым контуром тепловых насосов и могут быть рекомендованы к применению как инструмент для выбора схемного решения.

Ключевые слова: тепловой насос, энергопотребление, крупный строительный объект, тепловая сеть, методика расчета, карта районирования.

Ссылка при цитировании:

О.В. Аверьянова. Потенциал применения сетей с единым контуром теплонасосных установок в Российской Федерации // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 4. С. 106–117. DOI: 10.18721/JEST.24411.

O.V. Averyanova

Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, St. Petersburg, Russia

POSSIBILITIES OF USING HEAT PUMP SYSTEMS WITH A WATER LOOP IN RUSSIAN FEDERATION

The paper presents a procedure for calculating the annual energy consumption of a large construction object whose heating system comprises heat pumps connected in a water loop and offers a zone map of the Russian Federation depending on the potential efficiency of using water-loop heat pump systems. We have considered the traditional system with heating units and cooling fan coil units and the proposed new system with water-loop heat pumps. The procedure for calculating the energy consumption of these systems is described. Based on this procedure, we have calculated the coefficient of relative energy efficiency of using water-loop heat pump systems for Russian Federation and constructed a zone map of Russian Federation depending on the potential efficiency of using these systems. We have analyzed the energy efficiency of water-loop heat pump systems for large construction objects. The proposed procedure and the zone map are applicable for calculations of annual energy consumption of heating systems with heat pumps included in the water loop and can be recommended as a tool for choosing the circuit design.

Keywords: heat pump, energy consumption, large construction object, heating system, methodology of calculation, zone map.

Citation:

O.V. Averyanova, Possibilities of using heat pump systems with a water loop in Russian Federation, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 24(04)(2018) 106–117, DOI: 10.18721/JEST.24411.

Введение

В отечественной практике проектирования сетей энерго- и теплоснабжения крупных объектов промышленного и гражданского назначения ведется совершенствование методик расчета тепловых сетей и установок с целью улучшения их технико-экономических характеристик, экономии энергетических ресурсов, а также создания оптимальных для защиты окружающей среды тепловых систем [1–4].

Снижение расходов энергии в них основывается на комплексном учете факторов, определяющих возможности экономии [4]. Среди них – расчет потоков энергии и вещества внутри зданий и на границах ограждающих конструкций с дальнейшим их перераспределением. Определенные возможности для этого открываются при обоснованном применении тепловых насосов (ТН) [5–9, 13–15].

Применение теплонасосных установок на крупных объектах промышленного и гражданского назначения позволяет существенно снизить удельные затраты на производство энергетических ресурсов и повысить эффективность их использования за счет применения энергосберегающих технологий [11, 12].

Существующая практика проектирования инженерных сетей с использованием теплонасосных установок (ТНУ) не учитывает региональные климатические условия, удельные тепловые нагрузки на сети тепло- и холодоснабжения, тарифы на энергоносители и т. д. Это негативно сказывается на общей эффективности работы и на размерах инвестиций в подобные сети.

В настоящее время отсутствуют инструменты, позволяющие делать обоснованный выбор сетей с единым контуром теплонасосных установок. Таким инструментом может быть карта районирования по потенциалу применения таких сетей.

Цели работы:

создание методики расчета энергопотребления внутренних инженерных сетей, отличающейся от существующих методик одновремен-

ным учетом теплоты и электроэнергии и позволяющей провести обоснованный выбор сети с единым контуром теплонасосных установок;

расчет по предложенной методике значения удельного показателя относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплонасосных установок;

составление карты районирования Российской Федерации по потенциалу применения сетей с единым контуром теплонасосных установок, основываясь на рассчитанных значениях удельных показателей энергоэффективности.

Методика расчета энергопотребления внутренних инженерных сетей с одновременным учетом теплоты и электроэнергии

Допущения и ограничения. Существенны следующие допущения и ограничения:

1. Под традиционной системой для обогрева объекта понимается система с приборами отопления, включенными в первый гидравлический контур, и потребляющая только теплоту. Для удаления теплоизбытков на объекте рассматривается система с вентиляторными доводчиками, включенными во второй гидравлический контур. Электрическая энергия расходуется на привод компрессоров холодильного оборудования.

2. В качестве предлагаемой системы, применяемой одновременно для обогрева и отвода теплоизбытков на объекте, рассматривается система с единым контуром ТНУ. Электрическая энергия расходуется на привод компрессорного оборудования ТНУ.

3. На диапазон температур, в которых может работать ТНУ в режиме непосредственного отопления объекта, наложены технические ограничения, связанные с теплофизическими свойствами применяемых хладагентов (рабочие тела). При выходе за верхнюю границу температуры конденсации хладагента в конденсаторе ТНУ задействуется традиционная система отопления.

4. При принятом способе регулирования теплообмена по качеству подводимого теплоносителя в тепловой системе перепад давления Δp

постоянен и только характеризует сам объект. Электроэнергия для привода насосного оборудования, поддерживающего постоянный напор в гидравлических контурах, не учитывается.

5. Расчет годового энергопотребления производится по значению общего поставленного количества энергии, которое складывается из теплоты и электроэнергии, выраженной в тепловых единицах; для этого вводится коэффициент пересчета электрической энергии в теплоту по степени затрат в денежном выражении (n). Этот коэффициент является переменным и отражает текущее состояние цен на энергоносители в конкретном регионе.

6. Исходными данными для расчета поставленной энергии, выраженной в единицах тепловой энергии, будут следующие заданные характеристики объекта расчета: $t_{вн}$ – температура внутреннего воздуха рассматриваемого помещения, °С; $G_{рец}$ – расход рециркуляционного внутреннего воздуха через индивидуальный доводчик или ТН, кг/ч; t_{wkS} – температура теплоносителя на выходе из ТН, работающего в расчетный час на отопление, принимается равной нижнему значению температуры теплоносителя в гидравлическом контуре с ТН (17,5 °С); t_{wkN} – температура теплоносителя на выходе из ТН, работающего в расчетный час на охлаждение, принимается равной верхнему значению температуры теплоносителя в гидравлическом контуре с ТН (22,5 °С); t_w – средняя температура теплоносителя в едином гидравлическом контуре с ТН, при которой система находится в равновесном состоянии (когда потребление дополнительного тепла или отвод избыточного тепла для единого гидравлического контура с ТН не требуется), равна 20 °С.

При расчете температур конденсации и кипения в ТН значение полного перепада температуры $\Delta\theta$ (температура среды на входе в теплообменник ТН минус температура конденсации хладагента в ТН) постоянно и принято равным 8 °С.

7. Удельные характеристики цикла ТН определены по диаграмме $\lg P-i$ для хладагента, используемого в качестве рабочего тела в ТН; их значения сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Удельные характеристики цикла ТН при температуре испарения R407C 15 °С и различных температурах конденсации

Table 1

Specific characteristics of cyclic process of HP evaporating temperature R407C 15 °С and differently condensation pocket

| Температура конденсации (condensation pocket), °С | Удельная теплопроизводительность (specific heat output), q_k , кДж/кг | Теплота сжатия (heat of compression), l , кДж/кг |
|---|---|--|
| 28 | 208,32 | 13,94 |
| 29 | 208,12 | 14,97 |
| 30 | 207,18 | 15,99 |
| 31 | 206,52 | 17,01 |
| 32 | 205,60 | 18,02 |
| 33 | 204,98 | 19,02 |
| 34 | 204,37 | 20,02 |
| 35 | 203,10 | 21,01 |

Таблица 2

Удельные характеристики цикла ТН при температуре конденсации R407C 28 °С и различных температурах кипения

Table 2

Specific characteristics of cyclic process of HP condensation pocket R407C 28 °С and differently evaporating temperature

| Температура кипения (evaporating temperature), °С | Удельная холодопроизводительность (specific cold consumption), q_c , кДж/кг | Теплота сжатия (heat of compression), l , кДж/кг |
|---|---|--|
| 6 | 187,80 | 24,55 |
| 7 | 188,42 | 23,33 |
| 8 | 189,04 | 22,12 |
| 9 | 189,66 | 20,92 |
| 10 | 190,49 | 19,73 |
| 11 | 190,89 | 18,56 |
| 12 | 191,31 | 17,39 |
| 13 | 191,73 | 16,23 |
| 14 | 192,14 | 15,08 |
| 15 | 192,76 | 13,94 |
| 16 | 193,38 | 12,82 |

Алгоритм расчета. *Исходные данные:* значения n и $t_{вн}$; объемно-планировочные решения объекта расчета; место его строительства.

Последовательность расчета:

1. В соответствии с местом строительства объекта из базы климатических данных выбираются значения энергопоступления на горизонтальную (Q_i^{hor}) и вертикальную (Q_i^{ver}) поверхности ограждения за счет солнечной радиации; температура наружного воздуха в расчетный час $t_{нар}$; средняя месячная температура воздуха в i -м месяце $t_{i\text{сред}}$ абсолютный максимум температуры воздуха в i -м месяце $t_{i\text{max}}$; максимальное $J_{i\text{max}}$ и среднесуточное $J_{i\text{cp}}$ значения поверхностной плотности теплового потока суммарной поступающей в i -м месяце солнечной радиации (прямой и рассеянной) для горизонтальной поверхности; модуль среднего вектора скорости в i -м месяце — v^i ; время максимума суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации — z_i .

2. Исходя из объемно-планировочных решений объекта вводятся значения площадей окон $F_{ок}$ и массивных ограждающих конструкций F_m .

3. Согласно технологическим решениям объекта принимают значение Q_{total} полных теплопоступлений в помещения, которое не зависит от климатических параметров и является только его внутренней характеристикой.

4. В соответствии с техническими условиями источника холода на объекте и типом применяемого хладагента для него (применяется хладон) по диаграмме $\lg P-i$ вводятся для расчетного диапазона температур значения теплоты сжатия в компрессоре l , удельной холодопроизводительности — q_x , удельной теплопроизводительности — q_k , а также значения $\eta_{мех}$ механического коэффициента полезного действия, η_i индикаторного коэффициента полезного действия и $\eta_{эл}$ коэффициента полезного действия электродвигателя.

Блок предварительного расчета:

5. По климатическим данным и заданным характеристикам объекта определяется значение R_i приведенного сопротивления теплопередаче массивной ограждающей конструкции.

6. По значениям из п.5 определяется значение Q_i^m теплового потока через массивную ограждающую конструкцию.

7. На основе результата из п.6 и заданным характеристикам объекта определяются суммарные теплопоступления за расчетный час — ΣQ_r .

8. По климатическим данным и заданным характеристикам объекта расчета определяются суммарные теплопотери в расчетный час — ΣQ_x .

9. По результатам п.7 и п.8 определяется расход $Q_{ид}$ тепловой энергии, отводимой или подводимой в помещение посредством индивидуального температурного доводчика (вентиляторный доводчик или прибор отопления) в расчетный час.

Блок расчета традиционной системы:

10. Если $Q_{ид}$, полученное в п.9, имеет положительное значение, то рассчитывается $Q_{т год}$.

11. Если $Q_{ид}$, полученное в п.9, имеет отрицательное значение, то рассчитывается $N_{э год}$.

12. По рассчитанным значениям $N_{э год}$ и $Q_{т год}$ получают общее вводимое количество энергии — $Q_{tradition}$.

Блок расчета предлагаемой системы:

13. Если $Q_{ид}$, полученное в п.9, имеет положительное значение, то рассчитывается $Q_{т год}$, на основе которого оценивается значение $t_{вых}$ температуры воздуха на выходе из теплонасосной установки.

14. Если значение $t_{вых}$ больше t_{wkS} , то вычисляется максимальная доля тепловой энергии $Q_{тн}$, которую сможет компенсировать теплонасосная установка при ее работе в качестве отопительного прибора.

15. На основе вычисленных в п. 13 и п. 14 значений $Q_{т год}$ и $Q_{тн}$ определяется $Q_{со}$.

16. По полученному в п.13 значению $t_{вых}$ вычисляется t_k .

17. Если $Q_{ид}$, полученное в п.9, имеет отрицательное значение, то рассчитывается требуемая холодопроизводительность теплонасосной установки, которая соответствует значению $(-Q_{ТН})$ при ее работе в режиме отвода теплоизбытков; на его основе получают $t_{и}$.

18. В соответствии с получаемыми значениями $t_{к}$ и $t_{и}$ рассчитываются значения индикаторной мощности компрессора теплонасосной установки при его работе на обогрев ($N_{iк}$) и его работе в режиме отвода теплоизбытков ($N_{iх}$).

19. По полученным значениям $Q_{ТН}$, $N_{iк}$, $N_{iх}$ определяются значения расхода теплоносителя по каждой теплонасосной установке, работающей в расчетный час на обогрев (G_s) или на охлаждение (G_N).

20. По полученным в п.19 значениям G_s и G_N определяется значение t_{wk} температуры теплоносителя в едином гидравлическом контуре.

21. Если t_{wk} меньше t_w , то (по допущению 4) определяется значение $Q_{доп}$.

22. Если t_{wk} больше t_w , то (по допущению 4) определяется значение теплоты, которую необходимо отвести от единого контура посредством холодильной машины, $-Q_{chiller}$; на его основе получают $N_{э год}$.

23. По значениям $N_{iк}$ и $N_{iх}$, полученным в п. 19, определяют $T_{ТН год}$.

24. По рассчитанным значениям $Q_{СО}$, $Q_{доп}$, $N_{э год}$ и $N_{ТН год}$ получают общее вводимое количество энергии для объекта расчета $-Q_{promisin}$.

Сравнение результатов расчета

25. Если полученное значение $Q_{promisin}$ меньше $Q_{tradition}$, полученного в п.12, то применение на объекте расчета внутренних инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок **целесообразно**.

30. Если полученное значение $Q_{promisin}$ больше $Q_{tradition}$, полученного в п.12, то применение внутренних инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок на объекте расчета **нецелесообразно**.

Последовательность расчета соответствует блок-схеме расчета энергопотребления внутрен-

них инженерных сетей с одновременным учетом теплоты и электроэнергии для сетей с теплонасосными установками, включенными в единый гидравлический контур, и для традиционных сетей с приборами отопления и вентиляторными температурными доводчиками (рис. 1).

Составление карты районирования Российской Федерации

Карта районирования была составлена в соответствии с базой климатических данных по районам страны. База содержит необходимые в дальнейших расчетах значения теплоты, поступающей на поверхность ограждения за счет солнечной радиации в сочетании с температурами наружного воздуха в течение календарного года. Перечисленные параметры получены путем анализа данных «Научно-прикладного справочника по климату СССР», причем наибольший интерес для решения поставленной задачи представили его части 1, 2 и 4. Для этого также применялась описанная выше методика расчета годового энергопотребления, дающая значение величины удельного показателя относительной эффективности N для предварительной оценки бóльшей целесообразности применения тепловых сетей с единым контуром теплонасосных установок по сравнению с традиционными схемными решениями:

$$N = 1 - \frac{Q_{promisin}}{Q_{tradition}}, \quad (1)$$

где $Q_{promisin}$ — определяется по п.24 алгоритма расчета, а $Q_{tradition}$ — по п.12 при условии расчета теплоты, отводимой или подводимой в помещение посредством индивидуального доводчика (вентиляторный доводчик или прибор отопления), рассчитанной для $F_m = 1 \text{ м}^2$, а $F_0 = 0,85F_m$. Значения Q_{total} не учитывались в соответствии с п.3 алгоритма расчета.

Значения N получились в пределах от 1,15 до 46,21 %. Они были нанесены на карту России (рис. 2).

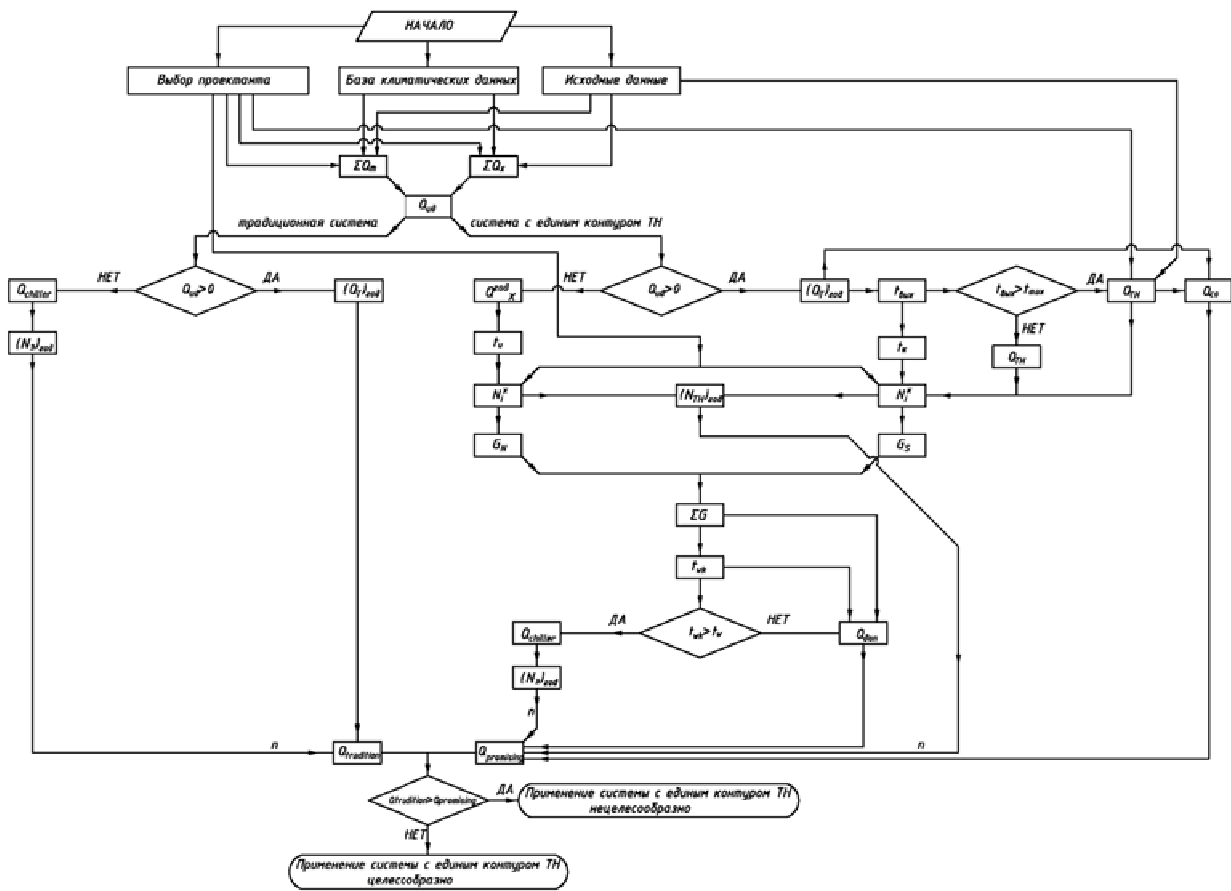


Рис. 1. Блок-схема расчета энергопотребления сетями
 Fig. 1. Network power calculation flowchart

Таким путем было выделено четыре основных диапазона: до 10 %; от 10 до 15 %; от 15 до 20 %; более 20 %. На карте единым цветом выделены районы, имеющие одинаковые значения N (рис. 3). При помощи этой карты инвестор, заказчик или проектант могут сделать предварительное заключение о применимости инженерных сетей с единым контуром теплонасосных установок в конкретном географическом пункте. Например, при размещении объекта в районе со значением N менее 0,1 экономия удельного годового энергопотребления на единицу площади ограждающих конструкций составит без учета других факторов до 10 %. В этом случае при наличии на объекте дополнительных внутренних теплоступле-

ний будет полезно проводить дальнейшие детальные расчеты годового энергопотребления.

Апробация применимости составленной карты районирования Российской Федерации

С целью иллюстрации предложенных подходов было проведено натурное исследование энергопотребления инженерной сети с единым контуром теплонасосных установок на крупном действующем объекте.

Рассматриваемый объект – один из крупнейших торгово-развлекательных центров Санкт-Петербурга площадью 80 000 м², на котором реализована инженерная сеть с единым контуром теплонасосных установок малой и средней мощности.

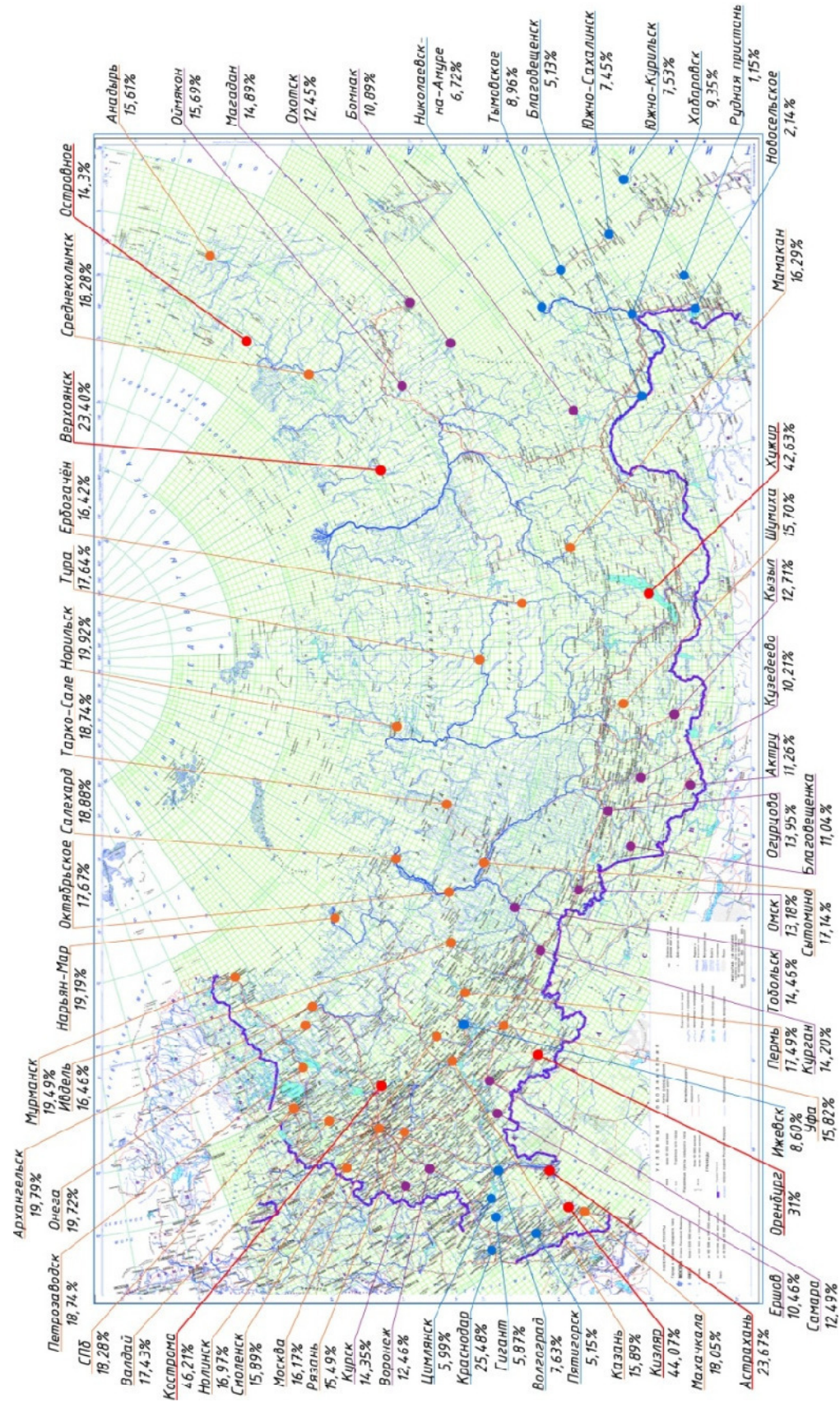


Рис. 2. Значения удельного показателя N на карте России
Fig. 2. Specific indicator values N on the map of Russia

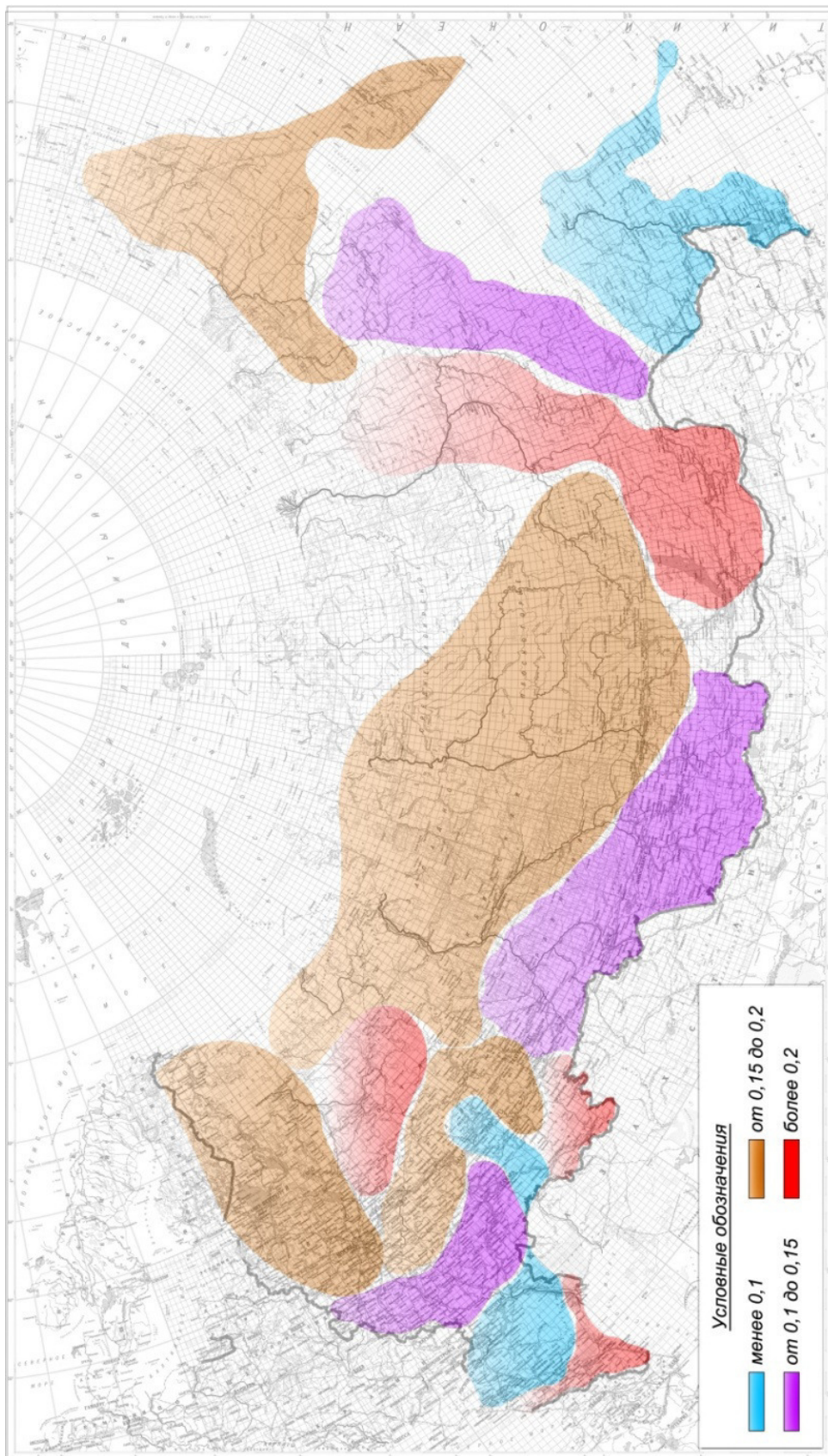


Рис. 3. Карта Российской Федерации по потенциалу применения сетей с единым контуром теплонасосных установок
 Fig. 3. Map of Russia on the potential use of networks with a single circuit of heat pump installations

В зависимости от потребности эта сеть либо забирает теплоту из помещений и перекачивает ее в единый контур, либо из единого контура перекачивает теплоту в помещения. Согласно карте районирования по величине удельного показателя относительной эффективности N от применения схемного решения с единым контуром теплонасосных установок (см. рис. 3) ожидаемая экономия составит до 20 % только за счет его локализации [10]. Для проведения эксперимента была выбрана зона на рассмотренном объекте, которая характеризуется наличием:

массивных наружных ограждающих конструкций;

остекления, пропускающего солнечную радиацию, в массивных ограждающих конструкциях;

технической возможности выделения части единого контура теплонасосных установок для проведения эксперимента;

технической возможности установки приборов, позволяющих задокументировать измеряемые параметры (объем, температура и дав-

ление) теплоносителя, циркулирующего в этом ответвлении от единого контура теплонасосных установок.

Полученные на основании проведенных замеров в течение одного года суммарные значения затрачиваемого выбранной зоной объекта количества теплоты, поступившей в сеть с единым контуром теплонасосных установок, составили 8200 кВт·ч за год.

Применив методику для выбранного объекта, установили, что количество теплоты, потребляемой выбранной зоной объекта от городских тепловых сетей в течение года, составила 8358 кВт·ч за год. Количество полного годового энергопотребления, выраженное в единицах теплоты, – 248 007 кВт·ч за год, что на 113 356 кВт·ч меньше, чем при применении традиционного решения, включающего систему отопления, контур охлаждения с вентиляторными температурными доводчиками и холодильную машину. Значение величины удельного показателя относительной эффективности N (ф.1) составило 31 %. Результат расчета в соответствии с предлагаемой методикой представлен на рис. 4.

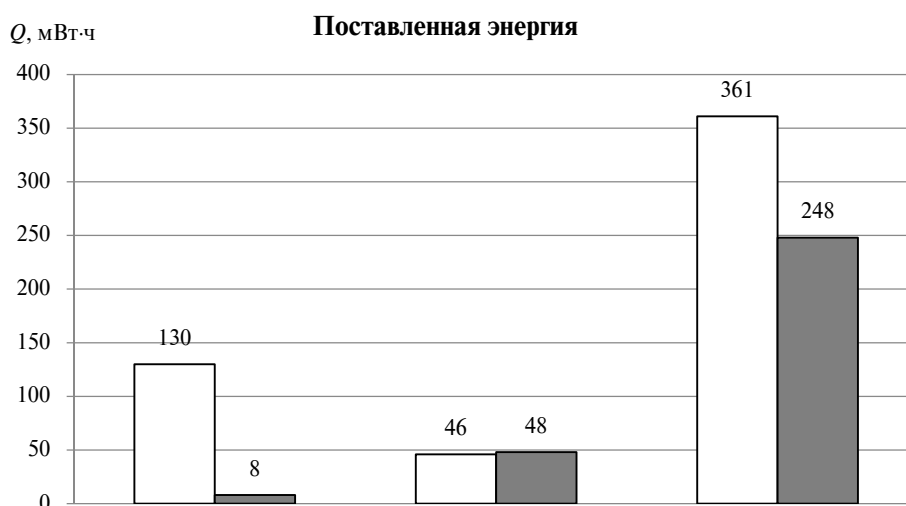


Рис. 4. Теоретические значения годового энергопотребления для рассматриваемой зоны объекта:

□ – при традиционном решении; ■ – с единым контуром теплонасосных установок

Fig. 4. Theoretical values of the annual energy consumption for the considered area of the object:

□ – traditional solution; ■ – network with a single circuit of head pump installations



Оценка достоверности показала, что количества теплоты, потребляемой выбранной зоной объекта, полученные расчетным путем в соответствии с предлагаемой методикой и экспериментально, качественно совпали (погрешность около 2 %). Расчетная экономия на 11 % выше ожидаемой в соответствии с картой районирования Российской Федерации.

Выводы

На основании проведенных теоретических и натурных экспериментальных исследований контуров теплонасосных установок сделаны следующие выводы:

1. Приведенная методика позволяет рассчитывать значения удельного показателя относительной эффективности применения сетей с единым контуром теплонасосных установок для Российской Федерации.

2. Карта районирования Российской Федерации по значению удельного показателя относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплонасосных установок дает возможность выбрать области эффективного использования теплонасосных установок на территории Российской Федерации.

3. Сравнивались две схемы систем поддержания температурных режимов рассмотренного объекта: схема с единым контуром теплонасосных установок и традиционная схема, включающая систему отопления, контур охлаждения с вентиляторными температурными доводчиками и холодильную машину. Расчет годового энергопотребления производился по значению общего поставленного количества энергии (теплоты и электроэнергии) по предложенной методике. Полученное количество полного годового энергопотребления для первой схемы, выраженное в единицах теплоты – 248 007 кВт·ч за

год, что на 113 356 кВт·ч меньше, чем при применении традиционного решения.

4. Натурные экспериментальные измерения на объекте показали, что количество теплоты, потребляемой от городских тепловых сетей выбранной зоной объекта в течение года составила 8200 кВт·ч, а годовое количество потребленной теплоты, рассчитанное по предложенной методике составила 8358 кВт·ч. Таким образом, количества теплоты, потребляемой выбранной зоной объекта, расчетное в соответствии с предлагаемой методикой и полученное экспериментально, совпали с погрешностью 2 %.

5. Исходя из карты районирования Российской Федерации по значению удельного показателя относительной энергоэффективности применения сетей с единым контуром теплонасосных установок было установлено, что для области, к которой относится город Санкт-Петербург, ожидаемая экономия полного годового энергопотребления от применения этой сети по сравнению с традиционной схемой, включающей систему отопления, контур охлаждения с вентиляторными температурными доводчиками и холодильную машину, составит как минимум 20 %. А расчеты, проведенные в соответствии с предложенной методикой, дали значение величины удельного показателя относительной эффективности N (ф.1) для рассмотренного объекта, равное 31 %. То есть расчетная экономия оказалась на 11 % выше ожидаемой в соответствии с картой районирования Российской Федерации.

Таким образом, подтверждена применимость данной методики и составленной карты в инженерной практике в целях сбережения энергетических ресурсов систем и установок, одновременно использующих теплоту и электроэнергию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7 (12). С. 49–63.

2. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3 (8). С. 1–11.

3. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2015. 200 с.
4. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Экономическая эффективность инвестиций в энергосбережение // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2014. № 3. С. 32–36.
5. Конференция СОК по тепловым насосам // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 2 (170). С. 16–17.
6. Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Емелин В.А., Воронов В.А. Устройство системы теплоснабжения с воздушным тепловым насосом // В сб.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. Иваново. 2016. С. 194–199.
7. Куроптев А.С. Разработка системы отопления с тепловым насосом, на базе альтернативного источника энергии // В сб.: Образование, наука, производство / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 3057–3060.
8. Воронин С.М., Закиров Ф.В., Тесля П.В. Анализ энергопотребления тепловыми насосами // В сб.: Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона. Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 23–29.
9. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Острякова Ю.Е. Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности фреонов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1 (367). С. 179–184.
10. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Серия 3. Ч. 1–6. Вып. 3 Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 692 с.
11. Аверьянова О.В. Возможности использования внутренних теплопоступлений в системах кондиционирования // Инженерные системы. СПб., 2009. № 1(38). С. 26–28.
12. Аверьянова О.В. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 53–59.
13. Pietsch J.A. Water-loop heat pump systems assessment // ASHRAE Trans. 1990, No 96. P. 1029–1038.
14. Zaidi J.H. Comparison of energy consumption of common heating, ventilating, and air conditioning systems with closed water loop heat pump systems: PhD-Thesis / University of Missouri – Rolla, 1990.
15. Henderson H.I., Carlson S.W., Khattar M.K. et al. The implications of the measured performance of variable flow pumping systems in geothermal and water loop heat pump applications // ASHRAE Trans. 2000. No 106. P. 533–542.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

АВЕРЬЯНОВА Олеся Валерьевна – старший преподаватель Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
E-mail: olesyaav@yandex.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 03.10.2018

REFERENCES

- [1] Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. Formula energoeffektivnosti. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2013. № 7 (12). S. 49–63. (rus.)
- [2] Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Energoeffektivnost ograzhdayushchikh konstruktсий pri kapitalnom remonte. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2013. № 3 (8). S. 1–11. (rus.)
- [3] Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. Energoeffektivnyye zdaniya. M.: AVOK-PRESS, 2015. 200 s. (rus.)
- [4] Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V., Vatin N.I. Ekonomicheskaya effektivnost investitsiy v energosberezheniye. *Inzhenernyye sistemy. AVOK – Severo-Zapad*. 2014. № 3. S. 32–36. (rus.)
- [5] Konferentsiya SOK po teplovym nasosam. *San-tekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye*. 2016. № 2 (170). S. 16–17. (rus.)
- [6] Fedoseyev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Yemelin V.A., Voronov V.A. Ustroystvo sistemy teplosnabzheniya s vozdushnym teplovym nasosom. *V sb.*



Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizatsionno-tekhnologicheskikh i ekonomicheskikh resheniy. Ivanovo, 2016. S. 194–199. (rus.)

[7] **Kuroptev A.S.** Razrabotka sistemy otopleniya s teplovym nasosom, na baze alternativnogo istochnika energii. *V sb.: Obrazovaniye, nauka, proizvodstvo Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova.* 2015. S. 3057–3060. (rus.)

[8] **Voronin S.M., Zakirov F.V., Teslya P.V.** Analiz energopotrebleniya teplovymi nasosami. *V sb.: Novyye tekhnologii v selskom khozyaystve i pishchevoy promyshlennosti s ispolzovaniyem elektrofizicheskikh faktorov i ozona. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya.* 2014. S. 23–29. (rus.)

[9] **Aloyan R.M., Fedoseyev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V., Ostryakova Yu.Ye.** Effektivnost otopleniya teplovym nasosom avtonomnykh tekstilnykh proizvodstv v zavisimosti ot urovnya termodinamicheskoy aktivnosti freonov. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti.* 2017. № 1 (367). S. 179–184. (rus.)

[10] Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR: Seriya 3. Ch. 1–6. Vyp. 3 Karelskaya ASSR, Le-

ningradskaya, Novgorodskaya, Pskovskaya, Kalininskaya i Smolenskaya oblasti. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 692 s. (rus.)

[11] **Averyanova O.V.** Vozmozhnosti ispolzovaniya vnutrennikh teplopostupleniy v sistemakh konditsionirovaniya. *Inzhenernyye sistemy.* 2009. № 1 (38). S. 26–28. (rus.)

[12] **Averyanova O.V.** Ekonomicheskaya effektivnost energosberegayushchikh meropriyatiy. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal.* 2011. № 5. S. 53–59. (rus.)

[13] **Pietsch J.A.** Water-loop heat pump systems assessment. *ASHRAE Trans.* 1990. No 96. P. 1029–1038.

[14] **Zaidi J.H.** Comparison of energy consumption of common heating, ventilating, and air conditioning systems with closed water loop heat pump systems: PhD-Thesis / University of Missouri – Rolla, 1990.

[15] **Henderson H.I., Carlson S.W., Khattar M.K. [et al.].** The implications of the measured performance of variable flow pumping systems in geothermal and water loop heat pump applications. *ASHRAE Trans.* 2000. No 106. P. 533–542.

THE AUTHOR

VERYANOVA Olesya V. – Peter the Great St. Petersburg polytechnic university
E-mail: olesyaav@yandex.ru

Received: 03.10.2018