

# Расчёт годового энергопотребления крупного объекта с тепловыми насосами, включёнными в единый контур

Рецензия эксперта на статью получена  
01.06.2018 [Expert review on the article  
was received on June 01, 2018].

## 1. Введение

В Российской Федерации за последние годы значительно активизировалась работа в вопросах энергосбережения и повышения энергетической эффективности [1–3]. На государственном уровне установлены требования по организации энергетического аудита, составлению энергетических паспортов, достижению определённого класса энергетической эффективности строительных объектов<sup>1</sup>. Остаётся без ответа вопрос: на сколько и как на самом деле повысилась энергетическая эффективность объекта, за счёт каких мероприятий и каковы дальнейшие пути повышения энергоэффективности?

Раздел 11 Свода Правил 60.13330.2012 определяет необходимость использования альтернативных источников энергии в инженерных системах зданий и сооружений. СП 50.13330.2012 устанавливает нормативные требования к строительству зданий с учётом обеспечения климатических условий работы технического оборудования при минимальном расходе теплоты за отопительный период.

Снижение расходов энергии в системах инженерного обеспечения зданий теплотой основывается на комплексном учёте факторов, определяющих возможности экономии [4]. Среди них — расчёт потоков энергии и вещества внутри зданий и на границах ограждающих конструкций с дальнейшим их перераспределением. Определённые возможности для этого открываются при обоснованном применении тепловых насосов (ТН) [5].

На примере торгово-развлекательного центра в городе Санкт-Петербурге проводятся экспериментальные исследования внутренней инженерной системы с применением метода расчёта энер-

**Снижение расходов энергии в системах инженерного обеспечения зданий теплотой основывается на комплексном учёте факторов, определяющих возможности экономии. Среди них — расчёт потоков энергии и вещества внутри зданий и на границах ограждающих конструкций с дальнейшим их перераспределением**

гопотребления с одновременным учётом теплоты и электроэнергии для выявления обоснованности применения ТН на этом объекте.

## 2. Цель работы

Обосновать метод расчёта энергопотребления внутренних инженерных сетей с одновременным учётом теплоты и электроэнергии для научно-обоснованного выбора проектного решения для производственных и общественных зданий и сооружений со значительными внутренними теплопоступлениями [13–15].

## 3. Характеристика объекта

Рассматриваемый в качестве примера крупный объект является одним из крупнейших торгово-развлекательных центров в городской черте. ТРК расположен на одной из главных магистралей города в 7 км от центра и недалеко от аэропорта. Площадь ТРК составляет 80 тыс. м<sup>2</sup>.

## 4. Характеристика системы

В крупных зданиях и сооружениях применяются тепловые системы с подачей приточного воздуха и теплоносителей с определёнными температурами.

УДК 696/697

### Расчёт годового энергопотребления крупного объекта с тепловыми насосами, включёнными в единый контур

О. В. Аверьянова, старший преподаватель; М. И. Куколев, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В статье приводится метод расчёта годового энергопотребления крупного объекта с тепловыми насосами включёнными в единый контур. Рассматриваются традиционная система с приборами отопления и вентиляторными доводчиками и перспективная система с тепловыми насосами, включёнными в единый водяной контур. Приводится подробное описание метода расчёта энергопотребления этих систем. Анализируется эффективность системы с тепловыми насосами, включёнными в единый водяной контур на примере торгово-развлекательного центра. Предлагается методика расчёта годового энергопотребления для тепловых сетей с тепловыми насосами, включёнными в водяной контур. Предлагается блок-схема расчёта годового энергопотребления для традиционной системы и перспективной системы. Предлагаемый метод применим для расчётов годового энергопотребления для тепловых сетей с единым контуром ТН и может быть рекомендован к применению как инструмент для выбора схемного решения.

**Ключевые слова:** тепловой насос, энергопотребление, крупный строительный объект, тепловая сеть, метод расчёта.

UDC 696/697

### Calculation of the annual energy consumption of the large construction object with heat pumps included in a water loop

O. V. Aver'yanova, Senior Lecturer; M. I. Kukolev, Doctor of Technical Science, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

The methodology for structural analysis of calculation of the annual energy consumption of the large construction object with heating system with heat pump included in a water loop is given in article. The traditional system with unit-heater of heating system and unit-fancoil of cooling system and the promising system with water loop heat pump system are considered. A detailed substantiation of the method of calculating the energy consumption of these systems is given. The energy efficiency of water loop heart pump system for of large construction object is analyzed. The methodology for structural analysis of calculation of the annual energy consumption of the heating system with heat pump included in a water loop is offered. A control flow chart of the method of calculating the energy consumption of the traditional system and the promising system. The proposed method is applicable for calculations of the annual energy consumption of the heating system with heat pump included in the water loop and can be recommended for use as implement of choose of the circuit design.

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

<sup>1</sup> Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

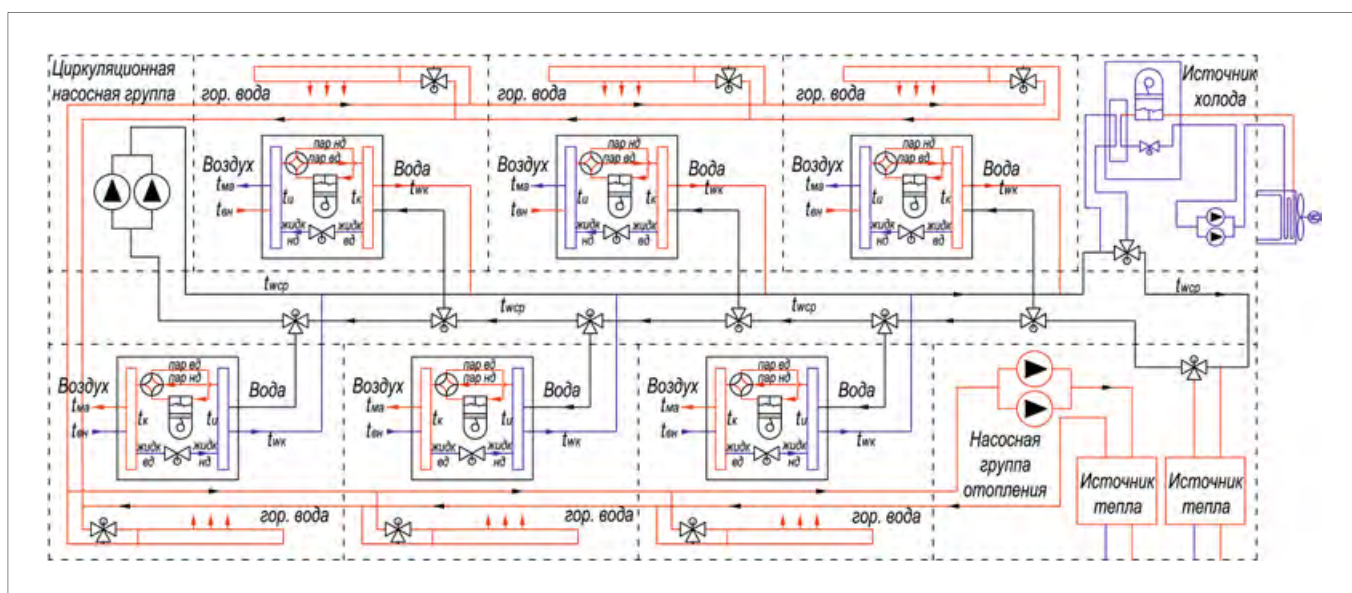


Рис. 1. Схема системы с использованием приборов отопления и вентиляторных доводчиков в качестве индивидуальных доводчиков

В качестве устройств для поддержания требуемой температуры внутреннего воздуха<sup>\*2</sup> применяют индивидуальные доводчики (ИД). К ним относятся, например, вентиляторные доводчики и приборы отопления в составе централизованной системы отопления. В зависимости от тепловой нагрузки помещения, внутренний воздух в теплообменнике ИД охлаждается или нагревается.

Схема тепловой системы с использованием приборов отопления и вентиляторных доводчиков в качестве индивидуальных доводчиков представлена на рис. 1. Данная схема не позволяет перераспределить внутренние теплоступления, к которым относятся теплоступления от солнечной радиации, теплоступления от посетителей, от тепловыделяющего оборудования в зонах общественного питания.

Для улучшения технико-экономических характеристик крупных объектов можно применить децентрализованные тепловые сети. Они имеют техническую возможность осуществлять перенос теплоты из помещений, которые нужно охладить, в помещения с недостатком теплоты. Для периодического получения холода или теплоты в каждом помещении целесообразно использовать ТН.

В этом случае предлагаемая децентрализованная система круглогодичного отопления и охлаждения выглядит так — рис. 2. Поддержание температуры воды в течение года в диапазоне от 18 до 35°C достигается с помощью дополнительных источника теплоты, включающегося при минимальной температуре рабочего диапазона, и устройств, отводящих тепло при максимальной температуре (градирни или холодильной машины).

Такая схема обеспечивает возможность перераспределения внутренних теплоступлений, в том числе индивидуально для каждого помещения.

## 5. Метод расчёта энергопотребления внутренних инженерных сетей с одновременным учётом теплоты и электроэнергии

### 5.1. Допущения и ограничения

Существенны следующие допущения и ограничения:

1. Под традиционной системой для обогрева объекта понимается система с приборами отопления, включёнными в первый гидравлический контур и потребляющая только теплоту. Для удаления теплоизбытков на объекте рассматривается система с вентиляторными доводчиками, включёнными во второй гидравлический контур.

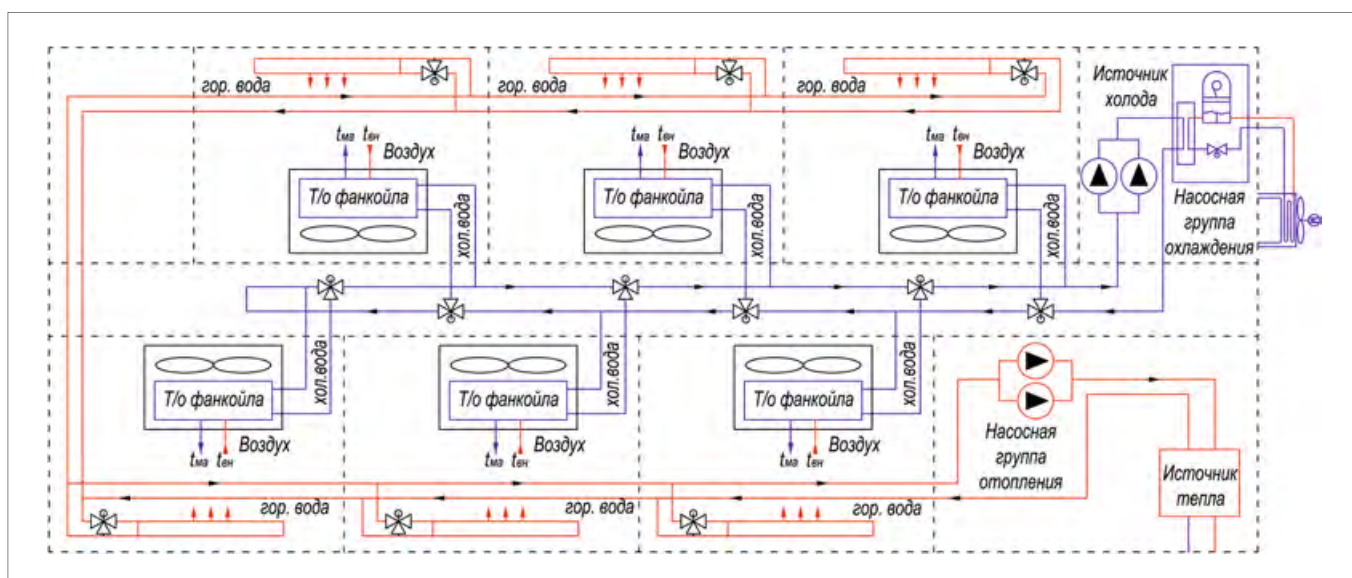


Рис. 2. Предлагаемая децентрализованная система круглогодичного отопления и охлаждения

\*2 ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

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

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

4. При принятом способе регулирования теплообмена по качеству подводящего теплоносителя, в тепловой системе перепад давления  $\Delta p$  постоянен и только характеризует сам объект. Электрическая энергия для привода насосного оборудования, поддерживающего постоянный напор в гидравлических контурах, никак не учитывается.

5. Расчёт годового энергопотребления производится по значению общего поставленного количества энергии, которое складывается из теплоты и электроэнергии, выраженной в тепловых единицах; для этого в данной работе вводится коэффициент пересчёта электрической энергии в теплоту по степени затрат в денежном выражении  $n$ . Например, если тарифы на покупку единицы энергии\*<sup>3</sup> отличаются в  $n$  раз, то, применив этот коэффициент, можно оценить общее приведённое потребление теплоэлектроэнергии, выраженное в единицах теплоты.

6. Исходными данными для расчёта поставленной энергии, будут следующие заданные характеристики объекта расчёта:  $t_{вн}$  — температура внутреннего воздуха рассматриваемого помещения, °C;  $G_{рец}$  — расход рециркуляционного внутреннего воздуха через индивидуальный доводчик или ТН, кг/ч;  $t_{wkS}$  — температура теплоносителя на выходе из ТН, работающего в расчётный час на отопление, принимается равной нижнему значению теплоносителя в гидравлическом контуре с ТН (17,5 °C);  $t_{wkN}$  — температура теплоносителя на выходе из ТН, работающего в расчётный час на охлаждение, принимается равной верхнему значению теплоносителя в гидравлическом контуре с ТН (22,5 °C);  $t_w$  — средняя температура теплоносителя в едином гидравлическом контуре с ТН, при которой система находится в равновесном состоянии, то

## Для улучшения технико-экономических характеристик крупных объектов можно применить децентрализованные тепловые сети. В них возможен перенос теплоты из помещений, которые нужно охлаждать, в помещения с недостатком теплоты

есть потребление дополнительного тепла или отвод избыточного тепла для единого гидравлического контура с ТН не требуется, равна 20 °C.

Значение полного перепада температуры  $\Delta \Theta$  (температуры среды на входе в теплообменник ТН и температуры кипения хладагента в ТН) при расчёте температуры кипения в ТН является постоянным и равным 8 °C.

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

### 5.2. Метод

В основу метода положено условие баланса тепловой мощности, которое можно записать следующим образом:

$$Q_{гид} = \sum Q_x - \sum Q_T, \quad (1)$$

где  $\sum Q_T$  — суммарные тепlopоступления в расчётный час, Вт;  $\sum Q_x$  — суммарные тепlopотери в расчётный час, Вт.

Для традиционной системы (с индивидуальными доводчиками — вентиляторными доводчиками и централизованной системой отопления) общее поставленное количество энергии  $Q_{трад}$  складывается из теплоты  $(Q_T)_{год}$  и электроэнергии, выраженной в тепловых единицах:

$$Q = (Q_T)_{год} + (N_{э})_{год} n, \quad (2)$$

где  $(Q_T)_{год}$  — тепловая энергия, поступающая в систему отопления, кВт/год;  $(N_{э})_{год}$  — электроэнергия, потребляемая компрессором холодильной машины, кВт·ч/год;  $n$  — принимается в соответствии с допущением 5.

Для предлагаемой системы (с индивидуальными доводчиками — тепловыми насосами и приборами отопления) общее поставленное количество энергии складывается:

$$Q_{предл} = Q_{co} + Q_{доп} [(N_{э})_{год} + (N_{тн})_{год}] n, \quad (3)$$

где  $Q_{co}$  — теплота, поступающая в традиционную систему отопления, кВт/год;  $Q_{доп}$  — дополнительная теплота, поступающая в единый гидравлический контур с ТН, кВт/год;  $(N_{э})_{год}$  — электроэнергия, потребляемая компрессором холодильной машины при отводе избыточного тепла из единого гидравлического контура с ТН, кВт·ч/год;  $(N_{тн})_{год}$  — электроэнергия, потребляемая компрессором ТН, кВт·ч/год;  $n$  — принимается в соответствии с допущением 5.

... Удельные характеристики цикла теплового насоса\*

табл. 1

| Температура конденсации (condensation pocket), °C | 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                                             |

\* При температуре испарения R407c 15 °C и различных температурах конденсации.

... Удельные характеристики цикла теплового насоса\*

табл. 2

| Температура кипения (evaporating temperature), °C | Удельная холодопроизводительность (specific cold consumption) $q_x$ , 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                                             |

\* При температуре конденсации R407c 28 °C и различных температурах кипения.

\*<sup>3</sup> Комитет по тарифам Санкт-Петербурга. Распоряжения от 27.12.2017 №276-р и 19.12.2016 №238-р.

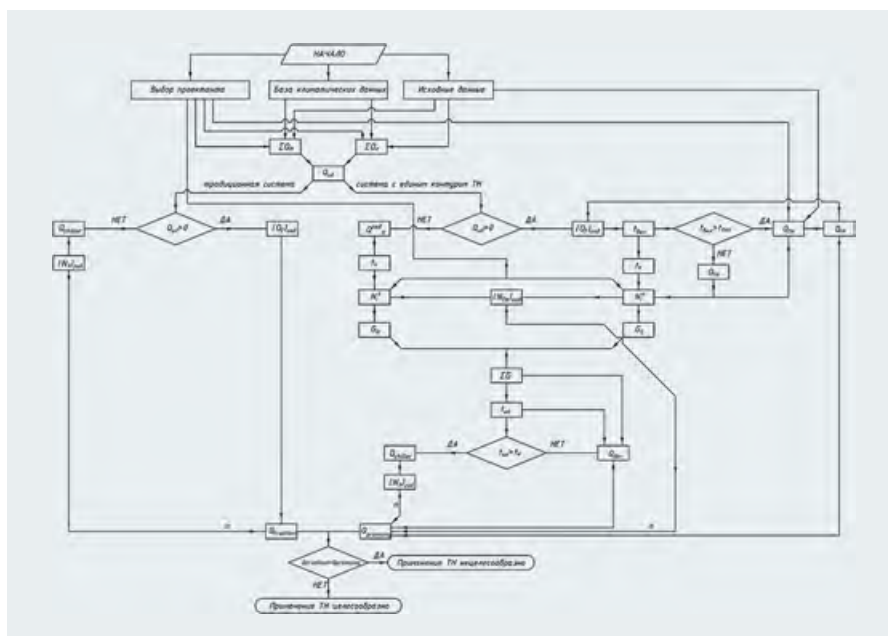


Рис. 3. Блок-схема расчёта количества поставляемой энергии для предлагаемой системы

Последовательность расчёта осуществляется в соответствии с блок-схемой, которая представлена на рис. 3. Исходные данные: известны значения  $t_{вн}$ , объёмно-планировочные решения объекта расчёта и его место строительства. Алгоритм:

1. В соответствии с местом строительства объекта расчёта из базы климатических данных выбираются значения энергопоступления на горизонтальную  $Q_{гор}$  и вертикальную  $Q_{верт}$  поверхности ограждения за счёт солнечной радиации, температура наружного воздуха в расчётный час  $t_{нар}$ , средняя месячная температура воздуха в  $i$ -м месяце  $t_{исред}$ , абсолютный максимум температуры воздуха в  $i$ -м месяце  $t_{imax}$ , максимальное и среднесуточное значение поверхностной плотности теплового потока суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) для горизонтальной поверхности, поступающей в  $i$ -м месяце  $J_{imax}$  и  $J_{иср}$ , модуль среднего вектора скорости в  $i$ -м месяце  $v_i$ , время максимума суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации  $z_i$ .
2. В соответствии с объёмно-планировочными решениями объекта расчёта вводятся значения площадей окон  $F_{ок}$  и массивных ограждающих конструкций  $F_{м}$ .
3. В соответствии с предназначением и характером использования или технологическими решениями объекта расчёта принимается значение полных теплопоступлений в помещении  $Q_{полн}$ , которые не зависят от климатических параметров и являются только его характеристикой.
4. В соответствии с техническими условиями источника холода на объекте расчёта и с типом применяемого хладагента для него по соответствующей  $\lg(P)$ - $i$ -диаграмме применяемого хладагента вводятся значения теплоты сжатия в компрессоре  $l$ , удельной холодопроизводительности

$q_x$  и удельной теплопроизводительности  $q_k$  для расчётного диапазона температур, а также значения механического коэффициента полезного действия  $h_{мех}$ , индикаторного коэффициента полезного действия  $h_i$  и коэффициента полезного действия электродвигателя  $h_{эл}$ .

#### Блок предварительного расчёта:

5. По климатическим данным и заданным характеристикам объекта расчёта определяется значение приведённого сопротивления теплопередаче массивной ограждающей конструкции  $R_i$ .
6. По значениям из пункт 5 определяется значение теплового потока через массивную ограждающую конструкцию  $Q_{им}$ .
7. На основе результата из пункт 6 и заданным характеристикам объекта расчёта определяются суммарные теплопоступления за расчётный час  $\Sigma Q_T$ .
8. По климатическим данным и заданным характеристикам объекта расчёта определяются суммарные теплопотери в расчётный час  $\Sigma Q_X$ .
9. На основе результата пунктов 7 и 8 определяется расход тепловой энергии, отводимой или подводимой в помещение посредством индивидуального доводчика (вентиляторным доводчиком или прибором отопления) в расчётный час  $Q_{ид}$ .

#### Блок расчёта традиционной системы:

10. Если  $Q_{ид}$ , полученное в пункте 9 имеет положительное значение, то рассчитывается  $(Q_T)_{год}$ .
11. Если  $Q_{ид}$ , полученное в пункте 9 имеет отрицательное значение, то рассчитывается  $(N_{э})_{год}$ .
12. По рассчитанным значениям  $(N_{э})_{год}$  и  $(Q_T)_{год}$  получают общее приведённое потребление теплоэлектроэнергии для объекта расчёта  $Q_{трад}$ .

#### Блок расчёта предлагаемой системы:

13. Если  $Q_{ид}$ , полученное в пункте 9 имеет положительное значение, то рассчитывается  $(Q_T)_{год}$ , на основе которого оценивается значение температуры воздуха на выходе из ТН  $t_{вых}$ .
14. Если значение  $t_{вых}$  больше  $t_{wks}$ , то вычисляется максимальная доля тепловой энергии  $Q_{тн}$ , которую сможет компенсировать тепловой насос при его работе на обогрев.
15. На основе вычисленных в пунктах 13 и 14 значений  $(Q_T)_{год}$  и  $Q_{тн}$  определяется величиной  $Q_{со}$ .
16. По полученному в пункте 13 значению  $t_{вых}$  вычисляется  $t_k$ .
17. Если  $Q_{ид}$ , полученное в пункте 9 имеет отрицательное значение, то рассчитывается требуемая холодопроизводительность теплового насоса, которая соответствует значению  $(-Q_{тн})$  при работе на охлаждение, на основе которого получают  $t_{и}$ .
18. В соответствии с получаемыми значениями  $t_k$  и  $t_{и}$  рассчитываются значения индикаторной мощности компрессора ТН при его работе на обогрев  $N_{ик}$  и его работе на охлаждение  $N_{ix}$ .
19. По полученным значениям  $Q_{тн}$ ,  $N_{ик}$  и  $N_{ix}$  определяются значения расхода теплоносителя по каждому из тепловых насосов, работающих в расчётный час на обогрев  $G_s$  и работающих в расчётный час на охлаждение  $G_n$ .
20. По полученным в пункте 19 значениям  $G_s$  и  $G_n$  определяется значение температуры теплоносителя в гидравлическом контуре  $t_{wk}$ .
21. Если  $t_{wk}$  меньше  $t_w$  (по допущению 6), то определяется значение  $Q_{доп}$ .
22. Если  $t_{wk}$  больше  $t_w$  (по допущению 6), то определяется значение теплоты, которую необходимо отвести из единого контура посредством холодильной машины  $Q_{чил}$ , на основе которого получают  $(N_{э})_{год}$ .
23. По значениям  $N_{ик}$  и  $N_{ix}$ , полученным в пункте 19, определяют  $(N_{тн})_{год}$ .
24. По рассчитанным значениям  $Q_{со}$ ,  $Q_{доп}$  и  $(N_{э})_{год}$  и  $(N_{тн})_{год}$  получают общее поставленное количество энергии для объекта расчёта  $Q_{предл}$ .

#### Сравнение результатов расчёта

25. Если полученное значение  $Q_{предл}$  меньше  $Q_{трад}$ , полученного в пункт 12, то применение тепловых сетей с единым контуром теплового насоса целесообразно на объекте расчёта.
30. Если полученное значение  $Q_{предл}$  больше  $Q_{трад}$ , полученного в пункте 12, то применение тепловых сетей с единым контуром теплового насоса нецелесообразно на объекте расчёта.

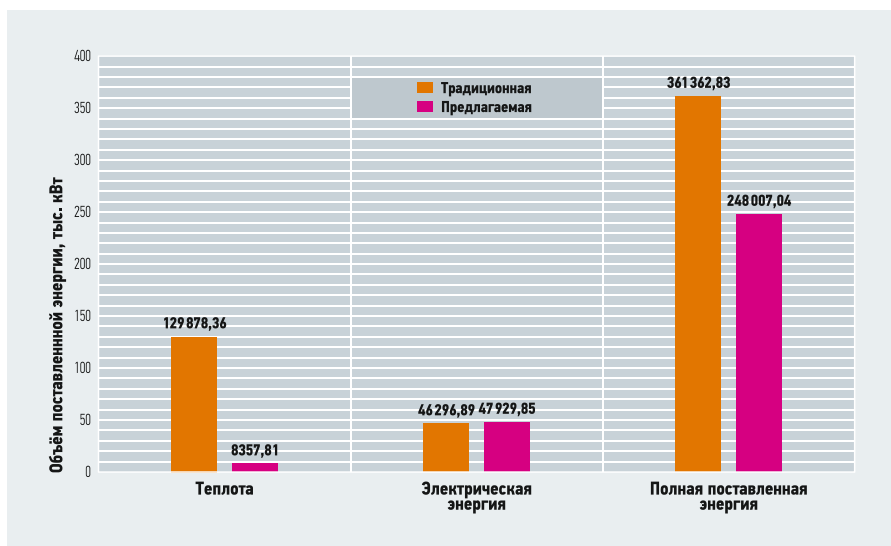


Рис. 4. Сравнение количеств полной составленной энергии для двух разных схем

## 6. Апробация метода

Для оценки достоверности полученных результатов был проведён эксперимент на объекте. На одно из ответвлений тепловой сети с единым контуром ТН был установлен тепловычислитель СПТ943.1, который обеспечивал измерение объёма, температуры и давления теплоносителя в этом ответвлении контура и вычислял количества теплоты, массы и средних значений температуры и давления, а также часовые, суточные и месячные значения теплоты, массы, объёма, средней температуры, средней разности температур и среднего давления. Перечисленные параметры рассчитывались по встроенным алгоритмам и архивировались. Архивная информация с тепловычислителя была по окончании эксперимента передана на переносной компьютер, подключаемый к оптическому порту с помощью адаптера. На основании проведённых замеров в течение одного года полученные суммарные значения затрачиваемого объектом количества теплоты, поступившей в ответвление тепловой сети с единым контуром ТН, составили 8200 кВт за год.

Рассчитав по предложенному методу энергопотребление для выбранного в качестве примера объекта (пункт 3), было установлено, что количество теплоты, потребляемой объектом от городских тепловых сетей в течении года составляет 8358 кВт. А количество полной поставленной энергии, выраженное в тепловых единицах, равно 248007 кВт, что на 113356 кВт меньше, чем было бы при применении традиционной системы (рис. 4).

## 7. Выводы

Сравнение двух схем по предложенному методу показало, что расчёт энергопотребления теплоэнергетических сетей с одновременным учётом теплоты и электроэнергии, потребляемой крупным объектом, позволяет провести научно-обос-

нованный выбор схемного решения. Это подтверждает применимость в инженерной практике данного метода в целях сбережения энергетических ресурсов систем и установок, одновременно использующих теплоту и электроэнергию.

До настоящего времени методов расчёта годового энергопотребления внутренних теплоэнергетических сетей, отличающихся одновременным учётом теплоты и электроэнергии и позволяющих проводить обоснованный выбор схемного решения сети с единым контуром теплонасосных установок, представлено не было. Впервые разработаны имитационная модель и метод расчёта энергопотребления теплоэнергетических сетей с одновременным учётом теплоты и электроэнергии, позволяющих провести научно-обоснованный выбор схемного решения.

## Расчёт энергопотребления теплоэнергетических сетей с одновременным учётом теплоты и электроэнергии, потребляемой крупным объектом, позволяющий провести научно-обоснованный выбор схемного решения

Установлена адекватность имитационной модели путём сопоставления натурных и расчётных показателей потребления теплоты в течение года на объекте. Выявлено, что количество теплоты, потребляемой объектом от городских тепловых сетей в течении года, составляет 8200 кВт за год. Сопоставимый результат получен и при расчёте в соответствии с методом расчёта энергопотребления внутренних инженерных сетей с одновременным учётом теплоты и электроэнергии. В этом случае количество теплоты оказывается равным 8358 кВт за год. Относительная погрешность измерения составила 1,93 %.

Кроме того, появляется возможность использования результатов сравнения значений годового энергопотребления для внутренних инженерных сетей крупного объекта при разработке программ энергосбережения предприятий, совместно потребляющих теплоту и холод.

Разработанный метод также позволяет произвести расчёт годового потребления общей поставленной энергии, в том числе и для традиционного схемного решения.

В дальнейших исследованиях целесообразно провести расчёты для других хладагентов и при других значениях полного перепада температуры; учесть электроэнергию для привода насосного оборудования, поддерживающего постоянный напор в гидравлических контурах. ●

- Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений, №7. 2013. С. 49–63.
- Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность отражающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений, No. 3. 2013. С. 1–11.
- Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. — М.: АВОК-Пресс, 2015. 200 с.
- 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.
- Конференция журнала С.О.К. по тепловым насосам // Журнал С.О.К., 2016. №2. С. 16–17.
- 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.
- Куроптев А.С. Разработка системы отопления с тепловым насосом, на базе альтернативного источника энергии: В сб. «Образование, наука, производство БелГТУ». — Белгород, 2015. С. 3057–3060.
- Воронин С.М., Закиров Ф.В., Тесля П.В. Анализ энергопотребления тепловыми насосами: В сб. трудов Международной научно-практической конференции «Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона». — М., 2014. С. 23–29.
- 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 вузов: Технология текстильной промышленности, 2017. №1. С. 179–184.
- 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.
- Аверьянова О.В. Возможности использования внутренних теплопоступлений в системах кондиционирования // Инженерные системы, СПб. 2009. №1. С. 26–28.
- Аверьянова О.В. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий // Инженерно-строительный журнал, 2011. №5. С. 53–59.
- Pietsch J.A. Water-loop heat pump systems assessment. ASHRAE Trans. 1990. No. 96. Pp. 1029–1038.
- Zaidi J.H. Comparison of energy consumption of common heating, ventilating, and air conditioning systems with closed water loop heat pump systems. PhD Thesis. Missouri University of Science and Technology. Rolla. 1990.
- Henderson H.L., 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. Pp. 533–542.

References — see page 93.

**Calculation of the annual energy consumption of the large construction object with heat pumps included in a water loop. Pp. 70–74.**

**O. V. Aver'yanova**, Senior Lecturer; **M. I. Kukolev**, Doctor of Technical Science, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

1. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. *Formula jenergojeffektivnosti* [The energy saving formula]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* ["Construction of Unique Buildings and Structures" Magazine]. No. 7. 2013. Pp. 49–63.
2. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V. *Jenergojeffektivnost' ograzhdajushhih konstrukcij pri kapital'nom remonte* [Energy efficiency of envelopes at major repairs]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* ["Construction of Unique Buildings and Structures" Magazine]. No. 3. 2013. Pp. 1–11.
3. Tabunshnikov Ju.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. *Jenergojeffektivnye zdaniya* [Energy efficient buildings]. Moscow. AVOK-Press. 2015. 200 p.
4. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V., Vatin N.I. *Jekonomicheskaja jeffektivnost' investitsij v jenergosberezhenie* [Cost-effectiveness of investments in energy efficiency]. *Inzhenernye sistemy: AVOK-Severo-Zapad* [Engineering systems: ABOK-North-West]. 2014. No. 3. Pp. 32–36.
5. *Konferencija zhurnala S.O.K. po teplovym nasosam* [S.O.K. conference on heat pumps]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing. Heating. Ventilation]. 2016. No. 2. Pp. 16–17.
6. Fedoseev V.N., Petruhin A.B., Zajceva I.A., Emelin V.A., Voronov V.A. *Ustrojstvo sistemy teplosnabzheniya s vozdušnym teplovym nasosom: V sb. nauch. trudov "Teoriya i praktika tehničkih, organizacionno-tehnologičeskikh i jekonomičeskikh reshenij"* [Device heating system air heat pump. Coll. vol. of "Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions"]. Ivanovo. 2016. Pp. 194–199.
7. Kuroptev A.S. *Razrabotka sistemy otopleniya s teplovym nasosom, na baze al'ternativnogo istochnika jenerгии* [Development of a heating system with a heat pump based on an alternative energy source]. V sb.: *Obrazovanie, nauka, proizvodstvo Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologičeskij universitet im. V.G. Shuhova* [Col. vol. "Education, science, production Belgorod Shukhov State Technological University"]. 2015. Pp. 3057–3060.
8. Voronin S.M., Zakirov F.V., Teslja P.V. *Analiz jenergotreblenija teplovymi nasosami* [Analysis of energy consumption by heat pumps]. V sb. *trudov Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii "Novye tehnologii v sel'skom hozjajstve i pishhevoj promyshlennosti s ispol'zovaniem jelektrofizicheskikh faktorov i ozona"* [Proc. of International scientific and practical conference "New technologies in agriculture and food industry using electro-physical factors and ozone"]. 2014. Pp. 23–29.
9. Alojjan R.M., Fedoseev V.N., Petruhin A.B., Zajceva I.A., Vinogradova N.V., Ostrjakova Ju.E. *Jefferktivnost' otopleniya teplovym nasosom avtonomnyh tekstil'nyh proizvodstv v zavisimosti ot urovnja termodinamicheskoy aktivnosti freonov* [Efficiency of heating by the heat pump of Autonomous textile productions depending on the level of thermodynamic activity of freons]. *Izvestija vuzov: Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of universities: Technology of textile industry]. 2017. No. 1. Pp. 179–184.
10. *Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR* [Scientific and applied reference book on climate of the USSR]: *Seriya 3. Ch. 1–6. Vyp. 3. Karel'skaja ASSR, Leningradskaja, Novgorodskaja, Pskovskaja, Kalininskaja i Smolenskaja oblasti* [Series 3. Part 1–6. Issue 3. Karelian ASSR, Leningrad, Novgorod, Pskov, Kalinin and Smolensk regions]. Leningrad. *Gidrometeoizdat* [Hydrometeorological Publishing House]. 1988. 692 p.
11. Aver'janova O.V. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya vnutrennih teplopostuplenij v sistemah kondicionirovaniya* [The possibility of using internal heat in air conditioning systems]. *Inzhenernye sistemy* ["Engineering systems" Magazine]. 2009. No. 1. Pp. 26–28.
12. Aver'janova O.V. *Jekonomicheskaja jeffektivnost' jenergosberegajushhih meroprijatij* [Economic efficiency of energy saving measures]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Engineering and construction journal]. 2011. No. 5. Pp. 53–59.
13. Pietsch J.A. Water-loop heat pump systems assessment. *ASHRAE Trans.* 1990. No. 96. Pp. 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. Missouri University of Science and Technology. 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. Pp. 533–542.