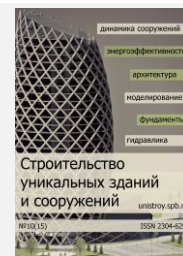


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Парокомпрессионные тепловые насосы как энергоэффективные устройства преобразования теплоты

Д.М. Шуравина¹, Н.Б. Фокина², О.В. Аверьянова³

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 697

История

Подана в редакцию 5 сентября 2013

Ключевые слова

тепловые насосы
коэффициент преобразования
хладагент
цикл Карно
кондиционирование

АННОТАЦИЯ

Для России разработки энергоэффективных решений являются очень актуальными. Использование тепловых насосов позволяет более рационально получать энергию ресурсов для функционирования инженерных систем зданий и сооружений. В статье рассмотрены аспекты определения показателей эффективности тепловых насосов и выделения путей повышения эффективности их функционирования.

Проведена работа парокомпрессионного теплового насоса и приведены основные показатели для определения энергосбережения. Проанализирована литература по оптимизации параметров функционирования тепловых насосов. Даны рекомендации по оценке эффективности тепловых насосов и по определению сроков их окупаемости.

Содержание

1. Введение	63
2. Тепловые насосы и их особенности	63
3. Оценка эффективности тепловых насосов	64
4. Тарифы на энергоносители и срок окупаемости тепловых насосов	66
5. Выводы	67

1

Контактный автор:

+7 (950) 035 1813, shdaria@list.ru (Шуравина Дарья Михайловна, магистрант)

2.

+7 (964) 321 5867, fokinay91@mail.ru (Фокина Надежда Борисовна, бакалавр)

3

+7 (950) 035 1813, o.averyanova@gosro.ru (Аверьянова Олеся Валерьевна, инженер)

1. Введение

Согласно Федеральному закону №261 от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», утвержденному премьер-министром РФ Владимиром Путиным Распоряжением от 1 декабря 2009 года №1830-р, был принят план мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации. Один из разделов плана предусматривает оснащение потребителей предметами учета энергоресурсов и стимулирование потребителей для перехода на энергосберегающие технологии. Применение тепловых насосов в системах кондиционирования и теплоснабжения позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты на энергоснабжение зданий [1].

По данным исследований института LUT (Lappeenranta University of Technologies), рассмотренных за 2008 год, было выявлено, что в Швеции 50% всего отопления обеспечивают тепловые насосы. В Стокгольме 12% всего отопления города обеспечивается тепловыми насосами общей мощностью 320 МВт, использующими как источник тепла Балтийское море с температурой +8°C, [2 - 4] в Германии предусмотрена дотация государства на установку тепловых насосов в размере 400 марок за каждый кВт установленной мощности.

В России тепловые насосы ещё не получили широкого признания, ввиду разнообразия климатических условий. В холодное время года температура в Российской Федерации, за исключением южных регионов страны, минусовая, и это в разы уменьшает эффективность тепловых насосов [5].

Ещё одна проблема, препятствующая внедрению тепловых насосов в России — малое количество отечественных производителей тепловых насосов.

Таким образом, предстоит отобразить критерии, позволяющие оценить эффективность тепловых насосов и выявить целесообразность их применения.

2. Тепловые насосы и их особенности

Идея теплового насоса высказана полтора века назад британским физиком Уильямом Томсоном (более известный как лорд Кельвин). Это придуманное им устройство он назвал «умножителем тепла».

Тепловой насос — это «холодильник наоборот». В обоих устройствах основными элементами являются испаритель, компрессор, конденсатор и дроссель (регулятор потока), соединенные трубопроводом, в котором циркулирует поток хладагента — вещества, способного кипеть при низкой температуре и меняющее свое агрегатное состояние с газового в одной части цикла, на жидкое — в другой [6 - 9]. Просто в холодильнике главная партия отводится испарителю и отбору тепла, а в тепловом насосе — конденсатору и передаче тепла [16 - 18].

Функция бытового холодильника сводится к охлаждению продуктов, и его сердцем является теплоизолированная камера, откуда тепло «откачивается» (отбирается кипящим в теплообменнике-испарителе хладагентом) и через теплообменник-конденсатор «выбрасывается» в помещение (задняя стенка холодильника довольно теплая на ощупь).

В тепловом насосе главным становится теплообменник, с которого тепло «снимается» и используется для обогрева дома, а второстепенная «морозилка» размещается за пределами здания.

На рисунке 1 [26] схематично представлен тепловой насос в виде системы из трех замкнутых контуров: в первом, внешнем, циркулирует теплоотдатчик (теплоноситель, собирающий теплоту окружающей среды), второй контур — хладагента (вещество, которое испаряется, отбирая теплоту теплоотдатчика, и конденсируется, отдавая теплоту теплоприемнику), в третьем — теплоприемник (вода в системах отопления и горячего водоснабжения здания) [10 - 15].

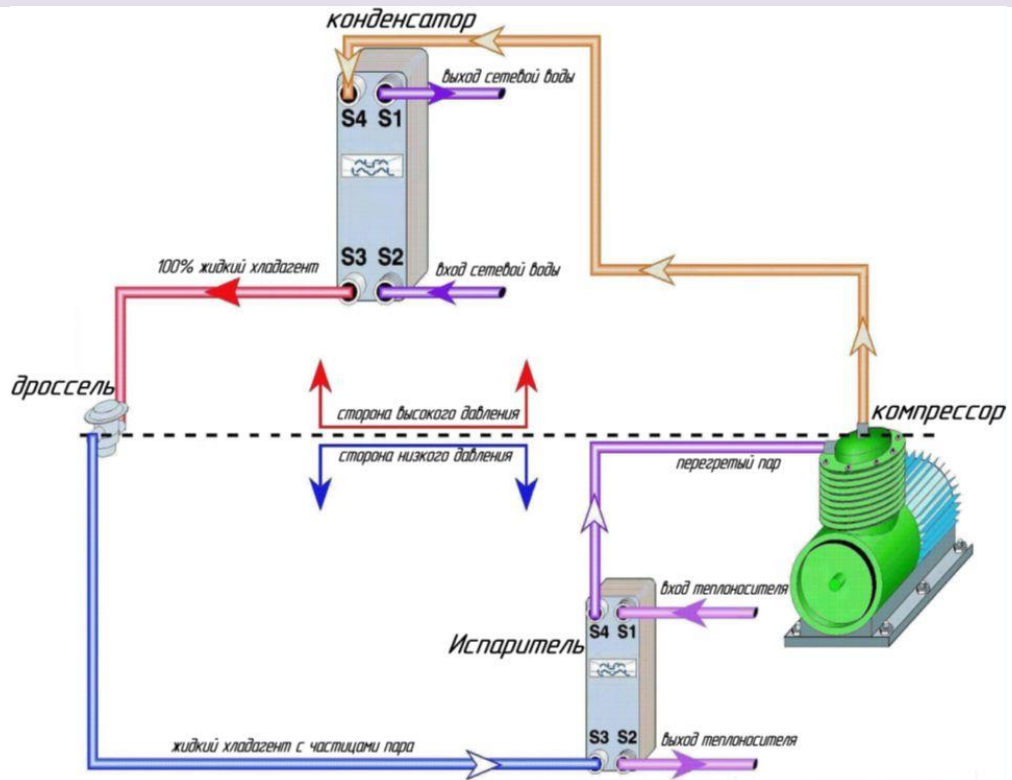


Рисунок 1. Рабочий цикл теплового насоса [26]

Внешний контур (коллектор) представляет собой уложенный в землю или в воду (например, полиэтиленовый) трубопровод, в котором циркулирует незамерзающая жидкость — антифриз. Источником низкопотенциального тепла может служить грунт, скальная порода, озеро, река, море и даже выход теплого воздуха из системы вентиляции какого-либо промышленного предприятия.

Во второй контур, где циркулирует хладагент, как и в бытовом холодильнике, встроены теплообменники — испаритель и конденсатор, а также устройства, которые меняют давление хладагента — распыляющий его в жидкой фазе дроссель (узкое калиброванное отверстие) и сжимающий его уже в газообразном состоянии компрессор. Рабочий цикл выглядит так [19 - 25]: жидкость хладагента продавливается через дроссель, ее давление падает, и она поступает в испаритель, где вскипает, отбирая теплоту, поставляемую коллектором из окружающей среды. Далее газ, в который превратился хладагент, всасывается в компрессор, сжимается и, нагретый, выталкивается в конденсатор. Конденсатор является теплоотдающим узлом теплонасоса: здесь происходит процесс получения теплоты - теплота принимается водой в системе отопительного контура. При этом газ охлаждается и конденсируется, чтобы вновь подвергнуться разряжению в расширительном вентиле и вернуться в испаритель. После этого рабочий цикл начинается сначала.

3. Оценка эффективности тепловых насосов

Для оценки энергетической эффективности ТН используется коэффициент преобразования (COP). Коэффициент преобразования теплового насоса выражается через отношение величины теплового потока Q , полученной в конденсаторе тепловой энергии к затраченной в компрессоре электрической мощности N [26].

$$\varepsilon = Q / N \quad (1)$$

Чем больше коэффициент преобразования, тем эффективнее тепловой насос. Обычно отопительные тепловые насосы работают с коэффициентом преобразования, значения которого лежат в интервале 3,5...5. Тепловые насосы, работающие с коэффициентом преобразования 3 и ниже, считаются неэффективными, и такая работа, если в этом есть необходимость, допустима лишь в течение относительно короткого промежутка времени, несмотря на то, что при этом получено в три раза больше тепла, чем затрачено электрической энергии [27 - 35]. На самом деле, сопоставлять расходы тепловой и электрической энергии только по их количеству некорректно, потому что их качественные характеристики

неадекватны, и для выработки одного киловатт-часа электроэнергии на тепловой электростанции нужно втрое больше топлива, чем на производство такого же количества тепла в котельной.

С учетом всех этих особенностей преобразования энергии в тепловых насосах, в декабре 2008 года Европейским парламентом принята Директива по использованию возобновляемых источников энергии (Directive on the Use of Renewable Energy Sources), которая не допускает использования тепловых насосов с коэффициентом преобразования, равном 2,875 и ниже [36 - 44].

Величина коэффициента преобразования теплового насоса зависит от разности температур кипения холодильного агента в испарителе и его конденсации в конденсаторе. Чем меньше эта разность, тем выше коэффициент преобразования.

Температура кипения зависит от температуры окружающей среды, используемой в качестве источника теплоты для теплового насоса, и, проектируя систему теплоснабжения с тепловым насосом, инженер не имеет возможности изменить эту температуру. Зато, выбирая температуру конденсации, проектировщик должен задаться достаточно низкой температурой [45 - 58]. Поэтому обычные для водяных отопительных систем температуры теплоносителя 95-70°C никогда не применяют в системах с тепловыми насосами. Наиболее экономичными по расходу энергии являются отопительные системы, например, системы с обогревом пола, в которых циркулирует вода с температурой ниже 40°C.

Теоретический коэффициент преобразования идеального теплового насоса вычисляется по формуле Карно:

$$\varepsilon = T_2 / (T_1 - T_2) \quad (2)$$

где T_1 - температура конденсации;

T_2 - температура кипения холодильного агента, выраженные в градусах Кельвина.

Если бы тепловой насос был вполне совершенным, то при температуре кипения +5°C ($T_2 = 278\text{K}$) и при температуре конденсации 55°C ($T_1 = 358\text{K}$) он мог бы работать с коэффициентом преобразования, равным 5,56.

На самом деле, коэффициент преобразования будет меньше, потому что вполне совершенных машин не бывает, и степень отклонения реального коэффициента преобразования от теоретически возможного зависит от множества факторов [59, 60]. К ним относятся физические размеры теплообменных аппаратов, свойства холодильного агента, особенности процесса сжатия в компрессоре и многое другое.

На рисунке 2 в качестве примера приведён график, составленный на основе анализа каталожных характеристик одной из серийных моделей теплового насоса. На графике отображена зависимость коэффициента преобразования от температур теплоносителей на выходе из испарителя и конденсатора (t_{2k}).

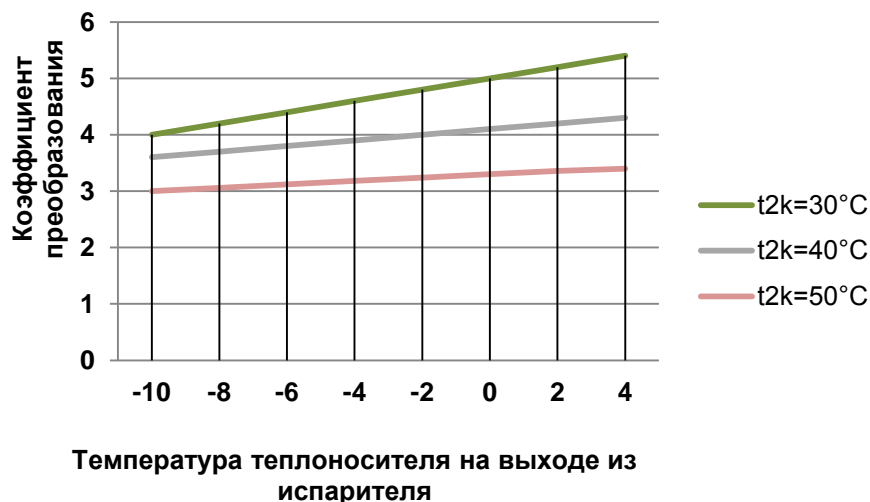


Рисунок 2. Зависимость коэффициента преобразования теплового насоса от температуры на выходе из конденсатора и испарителя

При помощи диаграммы нетрудно определиться с параметрами теплового насоса на самых начальных стадиях проектирования. Очевидно, например, что, если система отопления, присоединенная к теплому насосу, рассчитана на подачу теплоносителя с температурой в подающем трубопроводе 50°C, то максимально возможный коэффициент преобразования теплового насоса будет около 3,5. При этом температура гликоля на выходе из испарителя не должна быть ниже +3°C, а это означает, что потребуется дорогой грунтовый теплообменник.

В то же время, если дом обогревается посредством теплого пола, из конденсатора теплового насоса в систему отопления будет поступать теплоноситель с температурой 35°C. В этом случае тепловой насос сможет работать более эффективно, например, с коэффициентом преобразования 4,3, если температура охлажденного в испарителе гликоля будет около -2°C. [61-66]

Коэффициент преобразования теплового насоса является важнейшим критерием его энергетической эффективности, но для владельца здания важно знать о том, как эта эффективность отразится на его финансовых затратах. И здесь уже главную роль будут играть тарифы.

4. Тарифы на энергоносители и срок окупаемости тепловых насосов

Каким бы эффективным ни был тепловой насос, степень его привлекательности для заказчика зависит не столько от степени его технического совершенства или схемы использования, сколько от тарифной политики государства.

Затраты на электрическую энергию, необходимую для работы теплового насоса, будут меньше, чем затраты на покупку природного газа или тепловой энергии, которые могли бы применяться для традиционных отопительных систем, если соблюдается неравенство:

$$T_э < (\varepsilon / \eta) \cdot T_t \quad (3)$$

где $T_э$ - тариф на электрическую энергию;

T_t - тариф на один из традиционных энергоносителей;

ε - коэффициент преобразования теплового насоса;

η - коэффициент полезного действия традиционного генератора тепла.

Еще одним немаловажным критерием для определения эффективности теплового насоса является срок окупаемости. Для его вычисления необходимо знать экономию эксплуатационных расходов. [66-73]

Экономия эксплуатационных расходов на энергоносители \mathcal{E} , грн/год, при применении теплового насоса может быть вычислена по формуле:

$$\mathcal{E} = q \cdot (T_t / \eta - T_э / \varepsilon) \quad (4)$$

где q - количество кВт*часов тепловой энергии, необходимое для отопления здания в течение одного отопительного периода

Величину q можно определить по формуле [74 - 80]:

$$q = 10^{-3} \cdot 24 \cdot N \cdot S / (t_в - t_n) \quad (5)$$

где N - тепловая мощность, Вт, отопительной системы;

S - число градусо-суток отопительного периода;

$t_в - t_n$ - разность температур внутреннего и наружного воздуха.

Единовременные капитальные затраты K , на приобретение и установку теплового насоса могут быть предварительно оценены по формуле [80 - 90]:

$$K = 0,9 \cdot V \cdot N \quad (7)$$

где V - валютный курс, N - тепловая мощность, Вт, отопительной системы.

И тогда простой срок окупаемости C , лет, может быть определен по формуле:

$$C = K / \mathcal{E} = 0,9 \cdot V \cdot N / (q \cdot (T_t / \eta - T_э / \varepsilon)) \quad (8)$$

5. Выводы

Таким образом, оценка эффективности парокомпрессионного теплового насоса выводится исходя из коэффициента преобразования. Чем больше коэффициент преобразования, тем эффективнее тепловой насос. Сам коэффициент, в свою очередь, зависит от температуры теплоносителя на выходе из конденсатора. И чем она выше, тем более эффективен будет тепловой насос.

При выборе теплового насоса важно знать о том, как эта эффективность отразится на его финансовых затратах. С помощью алгоритма расчета, приведенного в статье, можно будет получить эти финансовые затраты, в том числе срок окупаемости и экономия эксплуатационных расходов.

Литература

1. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.
2. Прохоров В.И. Энергетический баланс инженерных систем здания и окупаемость новых технологических решений // Труды МГСУ. Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции. М.: МГСУ, 2003. 26 с.
3. Самарин О.Д. О методике оценки энергоэффективности зданий // Труды МГСУ. Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции. М.: МГСУ, 2003. 36 с.
4. Белова Е. М Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. М.: Евроклимат, 2003. 42 с.
5. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования. М.: Стройиздат, 1990. 30 с.
6. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1986. 268 с.
7. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
8. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
9. СНиП 4101-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
10. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
11. Львовский И.Б. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещения. М., 1991. 17 с.
12. Внутренние санитарно-технические устройства: Часть 3. Книга 1 Вентиляция и кондиционирование воздуха. 4-ое издание, переработанное и дополненное. Москва. Стройиздат, 1990. 319 с.
13. Внутренние санитарно-технические устройства: Часть 3. Книга 2 Вентиляция и кондиционирование воздуха. 4-ое издание, переработанное и дополненное. Москва, Стройиздат, 1990. 416 с.
14. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях, М.: Евроклимат, 2006. 64 с.
15. Еремкин А.И., Королева Т.И., Данилин Г.В., Бызев В.В., Аверкин А.Г. Экономика энергосбережения в системах отопления вентиляции и кондиционирования. М.: Изд-во АСВ, 2008. 147 с.
16. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
17. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника.
18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 2. Мурманская область. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 12 с.
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 28. Калужская, Тульская, Тамбовская, Брянская, Липецкая, Орловская, Курская, Воронежская, Белгородская области. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 29 с.
20. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 8. Москва и Московская область. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 31 с.
21. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 15 с.
22. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Ростовская область, Краснодарский край, Сочи. Ленинград. Гидрометеиздат 1990. 6 с.
23. Кондиционеры - доводчики эжекционные. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.docon.ru/product/5/kondicionery-dovodchiki.html> (дата обращения 01.03.2012)
24. Кокоркин О. Я Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Издательство физико-математический литературы. 2003. 22 с.
25. Шурыгин Е.Ю. Доводчик эжекционный. Рекомендации для проектирования. М.: Стройиздат, 2008. 25 с.
26. Данные о стоимости продукции системы «чиллер-фанкойл». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.satemo.ru/chillery/> (дата обращения 04.04.2012)
27. Данные о стоимости внутренних блоков "PRIMO". [Электронный ресурс]. URL: <http://www.air-stream.ru/ejection/> (дата обращения 16.04.2012)
28. Данные о стоимости насосного оборудования. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gidrosnab.ru/> (дата обращения 23.04.2012);
29. Богатин Ю.В., Швандер В.А. Экономическое управление бизнесом. Москва, 2001. 21 с.

30. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление: Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство». - М.: АСВ, 2002. 31 с.
31. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. с 18-20.
32. Горшков В.А., Дьячек М.В., Аверьянова О.В. Достоинства и недостатки системы кондиционирования с использованием тепловых насосных установок по сравнению с системой чиллер-фанкойл. // XXXVII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научной конференции студентов и аспирантов. Ч.1. СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2008. с 19-23.
33. Горшков В.А., Дьячек М.В., Аверьянова О.В. Решение задачи выбора энергоэффективной системы кондиционирования и ее оптимизации, // Сборник тезисов научно-исследовательских работ студентов и аспирантов СПбГПУ. СПб., 2008. с 25-27.
34. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Издательство физико-математической литературы. 2003. 18с.
35. Петраков Г.Н. [и др.] Применение тепловых насосов в теплоснабжении. Воронеж: Воронежский гос. технический ун-т, 2007. 19 с.
36. Васильев Г.П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 // АВОК. - 2002. № 4. С 10-18.
37. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий // АВОК. - 1998. № 1. С 5-10.
38. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. М.: Евроклимат, 2003. 62 с.
39. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. С 53-55.
40. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1982. С 186-189.
41. Бродач М.М. Инженерное оборудование высотных зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 43 с.
42. Васильев Г. П., Крундышев Н. С. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области. // АВОК. - 2002. № 5. 22 с.
43. Васильев Г.П. Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы // Энергосбережение. 2007. № 8. 11 с.
44. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор. // Справочник промышленного оборудования. 2004. №2. 8 с.
45. Буртасенков Д.Г. Повышение эффективности централизованного теплоснабжения путем использования тепловых насосов. Краснодар, 2006. 26 с.
46. Шабанов В.Е. Применение кольцевых телонасосных систем // АВОК. 2006. №4. 7 с.
47. Шабанов В.Е. Кольцевая система кондиционирования воздуха в гостинице // АВОК. 2004. № 7. 4 с.
48. Калинин И.М. Энергосберегающие теплонасосные технологии // Экологические системы. 2003. № 6. 3 с.
49. Бондарь Е.С., Калугин П.В. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха с аккумуляцией холода // С.О.К. 2006. 32 с.
50. Васильев Г.П., Абуев И.М., Горнов В.Ф. Автоматизированная теплонасосная установка, утилизирующая низкопотенциальное тепло сточных вод Зеленограда // АВОК. 2004. № 5. 12 с.
51. Гликсон А.Л., Дорошенко А.В. Гелиосистемы и тепловые насосы в системах автономного тепло- и хладоснабжения // АВОК. 2004. № 7. 4 с
52. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология.
53. СНиП 41-01-2003*. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
54. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.
55. СНиП 31-06-2009. Общественные здания и сооружения.
56. СНиП 31-05-2003. Общественные здания административного обозначения.
57. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника.
58. Львовский И.Б. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91. М., 1991. 17 с.

59. Тепловые насосы для климатических систем. Каталог. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mzta.ru/catalog> (дата обращения 05.04.2012)
60. «Тепловые насосы. Применение для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования и вентиляции». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eco-home.ru/lib.html> (дата обращения 03.03.2011)
61. Hongbing Chen, Deying Li, Xinqiang Dai. Economic Analysis of a Waste Water Resource Heat Pump Air-Conditioning. System in North China, 2006. 40 p.
62. «Commercial Heat Pump Air Conditioning System». Heat Pump and Thermal Storage Technology Center of Japan, 2007. 30 p.
63. Мааке В., Эккерт Г.Ю., Кошпен Ж.Л.. Учебник по холодильной технике. М.:издательство Московского университета. 1998. 114 с.
64. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. М.: Евроклимат, 2003. 23 с.
65. Изельт П., Арндт У. Кондиционирование воздуха сплит и VRF-мультисплит-системы. М: издательство Техносфера. 2011. 335 с.
66. Алтунин В.В., Геллер В.З., Петров Е.К., Рассказов Д.С., Спиридонов Г.А.. Фреоны метанового ряда. Справочные данные.М. издательство стандартов т.1.1980. 23 с.
67. Зайцев В.П. Холодильная техника. М. Типография №4 ПЛ Ленсовнархоза. 1962. 33 с.
68. Кокоркин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Издательство физико-математической литературы. 2003. 272 с.
69. Акимова Л.Д. Основы холодильной техники. 1996. 144 с.
70. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В.. Холодильная техничка. Свойства веществ. М.: издательство «Машиностроение», 1976. 165 с.
71. Кошкин Н.Н., Сакун И.А., Бамбушек Е.М., Бухарин Н.Н., Герасимов Е.Д., Ильин А.Я., Пекарев В.И., Стукаленко А.К., Тимовеевский Л.С.. Холодильные машины. М.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1985. 51 с.
72. Бараинко А.В., Бухарин Н.Н., Пекарев В.И., Сакун И.А., Тимофеевский Л.С.. Под ред. Тимофеевского Л.С. Холодильные машины. М: «Издательство Политехника», 1997. 91 с.
73. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В.. Под ред. В.Н. Богословского Кондиционирования воздуха и холодоснабжение. М.: Стройиздат. 1985. 36 с.
74. Дональд Росс. Проектирования систем ОВК высотных общественных многофункциональных зданий. М.: АВОК-ПРЕСС.2004. 166 с. Перевод изд.: HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings/ Donald E. Ross. Atlanta, 2004.
75. Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремин М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В.. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. М.: Евроклимат.2000. 41 с.
76. Ананьев В.А., Седых И.В. Холодильное оборудование для современных центральных кондиционеров. Расчеты и методы подбора. Учебное пособие. М.:Евроклимат. Издательство ООО «Диксис Трейдинг».2001. 96 с.
77. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирования воздуха. М.: АВОК Северо-запад. Санкт-Петербург.2005. 40 с.
78. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М: Стройиздат. 1971. 273 с.
79. Сакун И.А. Винтовые компрессоры. М.: Машиностроение. 1970 .40 с.
80. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М: Машиностроение. 1992. 67 с.
81. Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипова А.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. М.:Термокул. 2004. 37 с.
82. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С.. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Видавничий будинок. 2003. 62 с.
83. Сербницкий Б.Н. Примеры расчета систем кондиционирования воздуха. М.:Будивельник.1970.160 с.
84. Максимов Г.А. Проектирование процессов кондиционирования воздуха. М.: Высшая школа.1961. 100 с.
85. Быков А.В. Холодильные компрессоры. М: Легкая и пищевая промышленность. 1981. 280 с.
86. Быков А.В. Холодильные машины. М: Легкая и пищевая промышленность. 1982. 225 с.

87. Гусев Н.Н. Основы строительной физики. М.: Стройиздат. 1973. 34 с.
88. Sanner B. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). Course on geothermal heat pumps, 2002. 22 с.
89. Васильев Г. П. Экономически целесообразный уровень теплозащиты зданий // Энергосбережение. 2002. № 5. 2 с.
90. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. С 53-55.

Compression heat pumps as an energy efficient devices

D.M. Shuravina⁴, N.B. Fokina⁵, O. V. Averyanova⁶

Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Article history

Received 5 September 2013

Keywords

heat pumps
conversion factor
refrigerant
cycle Carno

ABSTRACT

The aspect of energy efficiency is one of the most actual for Russia. Usage of thermal pumps allows to receive energy for functioning of buildings and constructions' engineering systems. Questions of definition of thermal pumps efficiency indicators and allocation of ways for increasing their functioning are considered in this article. Operation of the vapor-compression thermal pump is carried out and the main indicators for energy saving are given. Literature about optimization of parameters of functioning thermal pumps is analysed. And as a result recommendations about an assessment of thermal pumps' efficiency and about definition of terms of their payback are made.

⁴ *Corresponding author:*
+7 (950) 035 1813, shdaria@list.ru (Darya Mikhailovna Shuravina, master's degree student)
⁵ +7 (964) 321 5867, fokinay91@mail.ru (Nadezhda Borisovna Fokina, bachelor of science)
⁶ +7 (950) 035 1813, o.averyanova@gosro.ru (Olesya Valerjevna Averyanova, engineer)

References

1. SanPiN 2.1.2.1002-00. Sanitarno-epidemiologicheskiye trebovaniya k zhilym zdaniyam i pomeshcheniyam. [Sanitary and epidemiologic requirements to residential buildings and rooms]. (rus)
2. Prokhorov V. I. Energeticheskiy balans inzhenernykh sistem zdaniya i okupayemost novykh tekhnologicheskikh resheniy [Energy balance of engineering systems of the building and payback of new technological decisions] // Trudy MGSU. Modern systems of heat supply and ventilation. M.: MGSU, 2003. 26 p. (rus)
3. Samarin O. D. O metode ozenki effektivnosti zdanii [About a technique of an assessment of energy efficiency of buildings] // Works MGSU. Modern systems of heat supply and ventilation. M.: MGSU, 2003. 36 p. (rus)
4. Belova E. M. Sistemy konditsionirovaniya vozdukh s chillerami i fenkoilami [Conditioning of the air with chillers and fancoils.] M.: Euroclimate, 2003. 42 p. (rus)
5. Rymkevich A.A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya [System analysis of optimization of all-exchange ventilation and conditioning]. M.: Stroyizdat, 1990. 30 p. (rus)
6. Karpis E.E. Energoberezheniye v sistemakh konditsionirovaniya vozdukh [Energy saving in conditioning systems]. M.: Stroyizdat, 1986. 268 p. (rus)
7. SNiP 2.04.05-91. Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye [Heating, ventilation and conditioning]. (rus)
8. GOST 30494-96. Parametry mikroklimate v pomeshcheniyakh [Microclimate parameters in rooms]. (rus)
9. SNiP 4101-2003 Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye [Heating, ventilation and conditioning]. (rus)
10. SNiP 23-01-99 Stroitel'naya klimatologiya [Construction climatology]. (rus)
11. Lvov I.B. Benefit 2.91 to SNiP 2.04.05-91. Raschet postupleniya teploty solnechnoy radiatsii v pomeshcheniya [Calculation of receipt warmth of solar radiation to rooms]. M., 1991. 17 p. (rus)
12. Vnutrenniye sanitarno-tekhnicheskiye ustroystva: chast 3 kniga 1, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukh [Internal sanitary devices: part 3. book 1, Ventilation and air conditioning]. 4th edition. Moscow. Stroyizdat, 1990.319 p. (rus)
13. Vnutrenniye sanitarno-tekhnicheskiye ustroystva: chast 3 kniga 2, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukh [Internal sanitary devices: part 3. book 2, Ventilation and air conditioning]. the 4th edition. Moscow, Stroyizdat, 1990. 416 p. (rus)
14. Belova E.M. Tsentralnyye sistemy konditsionirovaniya vozdukh v zdaniyakh [The central conditioning systems of air in buildings], M.: Euroclimate, 2006. 64 p. (rus)
15. Eremkin A.I. the Queen T.I., Danilin G. V., Byzev V. V., Averkin A.G. Ekonomika energoberezheniya v sistemakh otopleniya ventilyatsii i konditsionirovaniya [Economy of energy saving systems of heating, ventilation and conditioning]. M.: ASV publishing house, 2008. 147 p. (rus)
16. SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal protection of buildings]. (rus)
17. SNiP II-3-79 Stroitel'naya teplotekhnika [Construction heating engineering]. (rus)
18. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1-6. Vypusk 2. Murmanskaya oblast' [Scientific and applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Release 2. Murmansk region.] Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 12 p. (rus)
19. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1-6. Vypusk 28. Kaluzhskaya, Tul'skaya, Tambovskaya, Brjanskaya, Lipeckaya, Orlovskaya, Kurskaya, Voronezhskaya, Belgorodskaya oblasti. [Scientific and applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Release 28. Kaluga, Tula, Tambov, Bryansk, Lipetsk, Oryol, Kursk, Voronezh, Belgorod areas.] Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 29 p. (rus)
20. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1-6. Vypusk 8. Moskva i Moskovskaya oblast' [Scientific and applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Release 8. Moscow and Moscow region.] Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 31 p. (rus)
21. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletniye dannyye. Chasti 1-6. Vypusk 3. Karelskaya ASSR, Leningradskaya, Novgorodskaya, Pskovskaya, Kalininskaya i Smolenskaya oblasti [Scientific and applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Release 3. Karelian Autonomous Soviet Socialist Republic, Leningrad, Novgorod, Pskov, Kalinin and Smolensk areas]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 15 p. (rus)
22. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletniye dannyye. Chasti 1-6. Rostovskaya oblast, Krasnodarskiy kray, Sochi [Scientific and applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Rostov region, Krasnodar Krai, Sochi]. Leningrad. Gidrometeoizdat 1990. 6 p. (rus)

23. *Konditsionery - dovodchiki ezheksionnyye* [Conditioners - closers ejector]. [Electronic resource]. URL: <http://www.docon.ru/product/5/kondicionery-dovodchiki.html> (date of the address 01.03.2012)
24. *Kokorkin O. I Sovremennyye sistemy kondicionirovaniya vozduha* [Modern systems of air conditioning.] M.: Publishing house physical and mathematical literatures. 2003 . 22 p. (rus)
25. *Shurygin E.Yu. Dovodchik jezhekcionnyj. Rekomendacii dlja proektirovaniya* [Dovodchik ejector. Recommendations for design.] M.: Stroyizdat, 2008. 25 p. (rus)
26. *Dannyye o stoimosti produkcii sistemy «chiller-fankojl».* [Given about the cost of production of chiller-fancoil system.] [Electronic resource]. URL: <http://www.satemo.ru/chillery/>(date of the address 04.04.2012)
27. *Dannyye o stoimosti vnutrennikh blokov "PRIMO"* [Data on the cost of internal PRIMO blocks]. [Electronic resource]. URL: <http://www.air-stream.ru/ejection/>(date of the address 16.04.2012)
28. *Dannyye o stoimosti nasosnogo oborudovaniya* [Data on the cost of the pump equipment]. [Electronic resource]. URL: <http://www.gidrosnab.ru/>(date of the address 23.04.2012);
29. *Bogatin Yu.V. Shvander V.A. Ekonomicheskoye upravleniye biznesom* [Economic business management]. Moscow, 2001. 21 p. (rus)
30. *Sknavi A.N., Mahov L.M. Otoplenie: Uchebnik dlja studentov vuzov, obuchajushhhsja po napravleniju «Stroitel'stvo»* [Heating: The textbook for students of the higher education institutions which are training in the Construction direction.] - M.: ASV, 2002. 31 p. (rus)
31. *Tabunshchikov Y.A. Brodach M. M. Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teplovoj effektivnosti zdaniy* [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2002. Pp. 18-20. (rus)
32. *Dyachek M. V., Averyanova O. V. Central air merits and demerits with use of thermal pump installations in comparison with system a chiller-fancoil.* // XXXVII Week of science СПбГПУ: Materials of the All-Russian interuniversity scientific conference of students and graduate students. P.1. SPb. : Publishing house of Politekhn.Un-ta, 2008. Pp 19-23.
33. *Dyachek M. V., Averyanova O. V. Solution of a problem of a choice of power effective central air and its optimization,*//Collection of theses of research works of students and graduate students СПбГПУ. SPb., 2008 . from 25-27.
34. *Kokorin O. Y. Sovremennyye sistemy konditsionirovaniya vozdukha* [Modern central airs of air]. M.: Publishing house of physical and mathematical literature. 2003.18 p. (rus)
35. *Petrakov G. N., etc. Primeneniye teplovykh nasosov v teplosnabzhenii* [Use of thermal pumps in a heat supply]. Voronezh: The Voronezh state. technical un-t, 2007.19 p. (rus)
36. *Vasilyev G. P. Energoeffektivnyy eksperimentalnyy zhiloy dom v mikrorayone Nikulino-2* [Power effective experimental house in the residential district Nikulino-2]//AVOK. - 2002 . No. 4. Pp. 10-18. (rus)
37. *Tabunshchikov Y.A. Brodach M. M. Nauchnyye osnovy proyektirovaniya energoeffektivnykh zdaniy* [Scientific bases on design of power effective buildings]//AVOK. - 1998 . No. 1. Pp 5-10. (rus)
38. *Belova E.M. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha s chillerami i fankoylami* [Conditioningof air with chillers and fancoils]. M.: Euroclimate, 2003. 62 p. (rus)
39. *Tabunshchikov Y.A. Brodach M.M., Shilkin N. V. Energoeffektivnyye zdaniya* [Power effective buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2003. Pp 53-55. (rus)
40. *Fly D., McMichael D. Thermal pumps.* M.: Energoizdat, 1982. Pp 186-189.
41. *Borodach. M. M. Inzhenernoye oborudovaniye vysotnykh zdaniy* [Engineering equipment of high-rise buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2007.43 p. (rus)
42. *Vasilyev G. P., Krundyshev N. S. Jenergoeffektivnaja sel'skaja shkola v Jaroslavskoj oblasti* [Power effective rural school in the Yaroslavl region.] // AVOK. - 2002.№ 5. 22 p. (rus)
43. *Vasilyev G. P. Effektivnost i perspektiva ispolzovaniya teplovykh nasosov v gorodskom khozyaystve Moskvy* [Effektive and prospect of use of thermal pumps in municipal economy of Moscow]. // Energy saving. 2007 . No. 8. 11 p. (rus)
44. *V. G. Gorskov. Teplovyye nasosy. Analiticheskiy obzor* [Thermal pumps. State-of-the-art review]. // Reference book of the industrial equipment. 2004 . No. 2. 8 p. (rus)
45. *Burtasenkov D. G. Povysheniye effektivnosti tsentralizovannogo teplosnabzheniya putem ispolzovaniya teplovykh nasosov* [Increase of efficiency of the centralized heat supply by use of thermal pumps]. Krasnodar, 2006. 26 p. (rus)
46. *Shabanov V. E. Primenenie kol'cevyyh telonasosnykh sistem* [Application ring telonasosnykh of systems] /AVOK. 2006 . Pp. 4-7. (rus)

47. *Shabanov V. E. Koltsevaya sistema konditsionirovaniya vozdukh v gostinitse* [Ring central conditioning of air in hotel]//AVOK. 2004 . No. 7. 4 p. (rus)
48. *Kalinin I.M. Energosberegayushchiye teplonasosnyye tekhnologii* [Energy saving heat pump technologies] //Ecological systems. 2003. No. 6. 3 p. (rus)
49. *Cooper E.S., Kalugin P. V. Energosberegayushchiye sistemy konditsionirovaniya vozdukh s akkumulyatsiyey kholoda* [Energy saving central airs of air with cold accumulation]//S.O.K. 2006 . 32 p. (rus)
50. *Vasilyev G. P., Abuyev I.M. V. F. Avtomatizirovannaya teplonasosnaya ustanovka, utiliziruyushchaya nizkopotentsialnoye teplo stochnykh vod Zelenograda* [Horns the automated heat pump installation utilizing low-potential heat of sewage of Zelenograd]//AVOK. 2004 . No. 5. 12 p. (rus)
51. *Glikson A.L. Doroshenko A.V. Geliosistemy i teplovyye nasosy v sistemakh avtonomnogo teplo- i khladosnabzheniya* [Heliosystems and thermal pumps in systems autonomous warm and cold supply]//AVOK. 2004 . No. 7. 4 p. (rus)
52. *SNiP 23-01-99* Stroitel'naya klimatologiya* [Construction climatology]. (rus)
53. *SNiP 41-01-2003* Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye* [Heating, ventilation and conditioning]. (rus)
54. *SNiP of 2.01.01-82 Stroitel'naya klimatologiya i geofizika* [Construction climatology and geophysics]. (rus)
55. *SNiP 31-06-2009 Obshchestvennyye zdaniya i sooruzheniya* [Public buildings and constructions]. (rus)
56. *SNiP 31-05-2003 Obshchestvennyye zdaniya administrativnogo oboznacheniya* [Public buildings of administrative designation]. (rus)
57. *SNiP II-3-79 Stroytel'naya teplotekhnika* [Construction heating engineer]. (rus)
58. *Lvov I.B. Posobyе k Snip 2.04.05-91* [Book 2.91 to SNiP 2.04.05-91]. M, 1991. 17 p. (rus)
59. Thermal pumps for climatic systems. Catalog. [web source]. URL: <http://www.mzta.ru/catalog> (date of the address 05.04.2012)
60. Thermal pumps. Application for heating, hot water supply, conditioning and ventilation. [Electronic resource]. URL: <http://www.eco-home.ru/lib.html> (date of reference 03.03.2011)
61. Hongbing Chen, Deying Li, Xinqiang Dai. Economic Analysis of a Waste Water Resource Heat Pump Air-Conditioning. System in North China, 2006. 40 p.
62. Commercial Heat Pump Air Conditioning System. Heat Pump and Thermal Storage Technology Center of Japan, 2007. 30 p.
63. *Maake V., Ekkert G. Yu., Koshpen Z.L. Uchebnik po kholodilnoy tekhnike* [The textbook of refrigerating equipment]. M.:izdatelstvo of the Moscow university. 1998. 114 p. (rus)
64. *Belova E.M. Sistemy konditsionirovaniya vozdukh s chillerami i fenkoilami* [Air central airs with chillers and fancoils]. M.: Euroclimate, 2003. 23 p. (rus)
65. Izelt P., Arndt U. Air conditioning Split and VRF systems. M: Technosphere publishing house. 2011 . 33 p.
66. *V.V. Altunin, V.Z. Geller, E.K.Petrov, D.S. Rasskazov, G.A. Spiridonov. Freony metanovogo rjada. Spravochnye dannye* [Freona of a methane row. Help data.] M Standards Publishing House.1980. 23 p. (rus)
67. *V.P. Zajcev. Kholodil'naya tekhnika* [Refrigerating equipment]. M. Printing house No. 4 . Lensovnarkhoz. 1962 . 33 p. (rus)
68. *Kokorkin O. A. Sovremennyye sistemy konditsionirovaniya vozdukh* [Modern central conditioning of the air] / Island. I / Kokorkin. M.: Publishing house physical and mathematical literatures. 2003 . 272 p. (rus)
69. *Akimova L.D. Izuchajushhim osnovy holodil'noj tehnik* [Bases of refrigerating equipment.] 1996 . 144 pages. (rus)
70. *Bogdanov S. N., Ivanov O. P., Kupriyanova A.V. Kholodil'naya tekhnichka. Svoystva veshchestv* [Refrigerating cleaner. Properties of substances]. M.: Mashinostroyeniye publishing house, 1976. 165 p. (rus)
71. *Koshkin N.N., Sakun I.A. Bambushek E.M. Bukharin N. N., Gerasimov E.D. Ilyin A.Ya. Pekarev V. I. Stukalenko A.K. Timoveevsky L.S. Kholodil'nyye mashiny* [Refrigerators]. M.: Mechanical engineering. Leningrad. 1985 . 51 p. (rus)
72. *Barainko A.V. Bukharin N. N., Pekarev V. I. Sakun I.A. Timofeevsky L.S. Under the editorship of Timofeevsky L.S. Kholodil'nyye mashiny* [Refrigerators]. M: "Polytechnical publishing house", 1997. 91 p. (rus)
73. *Bogoslovsky V.N., Kokorin O. Y., Petrov L.V. Konditsionirovaniya vozdukh i kholodosnabzheniye* [Air conditioning and cold supply]. M.: Stroyizdat. 1985 . 36 p. (rus)
74. Donald Ross. Design of systems of OVK of high-rise public multipurpose buildings. M.: AVOK-PRESS.2004. 166 p. Prod. translation. : HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings/Donald E. Ross. Atlanta, 2004.

75. Ananyev V.A. Baluyeva L.N. Galperin A.D. Cities A.K., Eremin M. Yu. Zvyagintseva S. M., Murashko V.P., Gray-haired I.V. . *Sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya. Teoriya i praktika* [Ventilation and conditioning system. Theory and practice]. M.: Euroclimate .2000. 41 p. (rus)
76. Ananyev V.A. Sedukh I.V. *Kholodilnoye oborudovaniye dlya sovremennykh tsentralnykh konditsionerov. Raschety i metody podbora. Uchebnoye posobiye* [Refrigerating appliances for modern central conditioners. Calculations and trial and error methods. Manual]. M.:Euroclimate. JSC Diksis Trading publishing house.2001. 96 p. (rus)
77. Stefanov E.V. *Ventilyatsiya i konditsionirovaniya vozdukha* [Ventilation and air conditionings]. M.: AVOK Northwest. Sankt-Peterburg.2005. 40 p. (rus)
78. Barkalov B. V., Karpis E.E. *Konditsionirovaniye vozdukha v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh* [Air conditioning in industrial, public and residential buildings]. M:stroyizdat. 1971 . 273 p. (rus)
79. Sakun I.A. *Vintovyye kompressory* [Screw compressors]. M.: Mechanical engineering. 1970 .40 p.
80. Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Reference book on hydraulic resistance. M: Mechanical engineering]. 1992 . 67 p. (rus)
81. Krasnov Y.S., Borisoglebsk A.P., Antipova A.V. *Ventilation and conditioning systems. Recommendations about design, tests and to adjustment.* M.:Termocool. 2004 . 37 p. (rus)
82. Nimich G. V., Mikhaylov V.A. E.S. *Sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya. Rekomendatsii po proyektirovaniyu, ispytaniyam i naladke* [Cooper modern systems of ventilation and air conditioning]. M.: Vidavnichy budinok. 2003 . 62 p. (rus)
83. Serbnitsky B. N. *Primery rascheta sistem konditsionirovaniya vozdukha* [Examples of calculation of central airs of air]. M.:Bydivelnic.1970.160 p. (rus)
84. Maksimov G. A . *Proyektirovaniye protsessov konditsionirovaniya vozdukha* [Design of processes of air conditioning]. M.: The highest school.1961. 100 p. (rus)
85. Bykov A.V. *Kholodilnyye kompressory* [Refrigerating compressors]. M: Light and food industry. 1981 . 280 p. (rus)
86. Bykov. A.V. *Kholodilnyye mashiny* [Refrigerators]. M: Light and food industry. 1982 . 225 p. (rus)
87. Gusev N. N. *Fundamentu I stroitel'naya fizika* [Fundamentals of construction physics]. M.: Stroyizdat. 1973 . 34 p. (rus)
88. Sanner B. *Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). Course on geothermal heat pumps, 2002.* 22 p.
89. Vasilyev G. P. *Ekonomicheski tselesobraznyy uroven teplozashchity zdaniy* [Ekonomicheski tselesobrazny level of a heat-shielding of buildings] // Energy saving. 2002. No. 5. 2 p. (rus)
90. Tabunshchikov Y.A., Brodach M.M., Shilkin N. V. *Energoefektivnuye zdania* [Power effective buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2003. Pp. 53-55. (rus)