



Оценка эффективности использования реверсивных чиллеров

Н.Н. Руденко, Т.А. Ляшенко

*Академия Строительства и Архитектуры
Донской Государственный Технический Университет*

Аннотация: В статье рассмотрены зависимости теплотребностей здания от температур наружного воздуха и представлены результаты математического моделирования в виде универсальной зависимости. Получены данные процентного соотношения выработки теплоты чиллерами и представлена идеология построения графиков выработки и потребления теплоты. Произведены вычисления и численный анализ количества тепла приходящегося на дополнительный источник тепла.

Ключевые слова: стояние температур, климатические параметры, тепловая нагрузка, математическая модель, оценка эффективности, чиллер, тепловой насос.

Города России меняют свой облик. В местах малоэтажных застроек появляются новые общественные здания повышенной этажности, в связи с этим потребность в тепловой энергии значительно возрастает. Возникают проблемы с подключением к тепловым сетям. В месте строительства мощности тепловых сетей оказываются недостаточными, а в некоторых случаях они вообще отсутствуют.

Одним из вариантов выхода из создавшейся ситуации может быть использование тепловых насосов [1-3]. Установка серийных тепловых насосов вырабатывающих только тепловую энергию приводит к значительному удорожанию инженерных систем. Однако есть возможность значительно сократить первичные вложения за счёт использования систем кондиционирования для обогрева помещений.

В большинстве общественных зданий (торговые, офисные центры) в качестве источника холода используются чиллеры. Одной из модификаций этого оборудования является реверсивный чиллер (чиллер с тепловым насосом)[4]. Такой тип чиллера может вырабатывать не только холод, но и тепловую энергию, причем увеличение стоимости реверсивного чиллера по



сравнению с чиллером, работающим только на выработку холода незначительна[5,6].

В настоящее время отсутствуют чётко прописанные методики оценки эффективности использования тепловых насосов в различных регионах России.

Для разработки методики оценки эффективности реверсивных чиллеров необходимо решить, по крайней мере, три задачи:

- моделирование тепловой нагрузки за отопительный период года для различных регионов России;
- моделирование динамики выработки тепловой энергии;
- определение диапазона использования чиллера и уточнение необходимой резервной мощности.

Для наглядности были выбраны города из разных климатических зон (южной и северной), эти города имеют разное время стояния температур и различные расчетные температуры наружного воздуха.

Для построения графиков стояния температур наружного воздуха используются значения средней продолжительности температур воздуха различных градаций представленные в приложение к СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика».

Таблица №1

Расчетные температуры наружного воздуха для зимнего периода

Город	Ростов-на-Дону	Москва	Воронеж	Махачкала	Грозный
1	2	3	4	5	6
$t_{нар}^{зима}, ^\circ C$	-19	-25	-24	-13	-17

$t_{\text{нар}}^{\text{зима}}$ - - Расчетная температура наружного воздуха зимой, °С

Зная тот факт, что график потребления теплоты не всегда совпадает с графиком выработки, возникает необходимость в моделировании тепловой нагрузки на системы отопления [7,8].

Наибольший интерес представляет использование реверсивных зданий (общественные здания) с удельной теплоемкостью 0,417, Вт/м³·С из «СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Используя полученные значения, были построены графики изменения тепловой нагрузки для различных климатических условий рис.1.

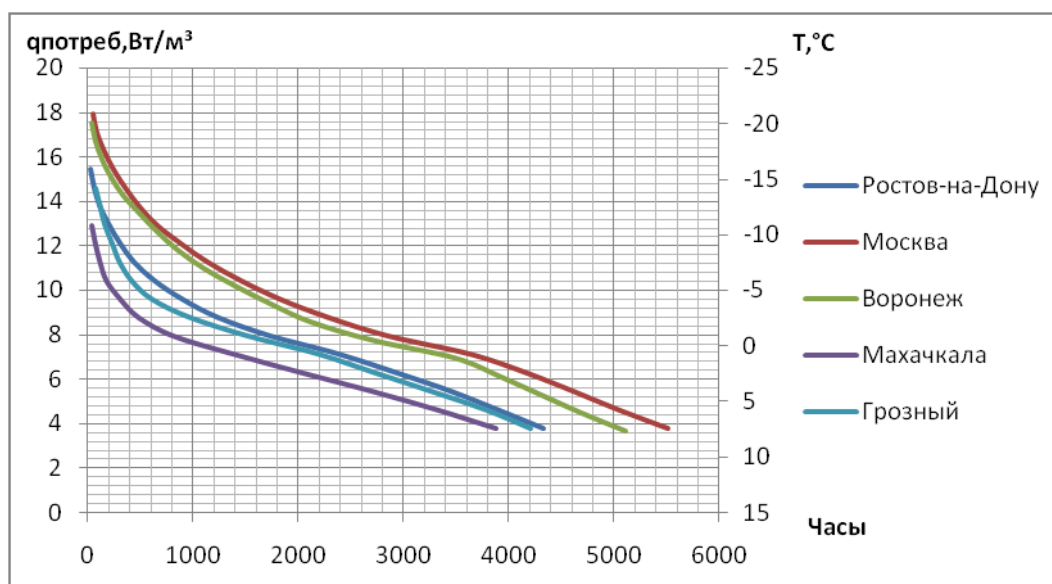


Рис.1. - Графики удельных теплотребностей для городов Ростов-на-Дону, Москва, Воронеж, Махачкала, Грозный.

Представленные графики можно аппроксимировать зависимостью

$$q_{\text{потреб}} = a \cdot \sqrt[3]{x} + b \quad (2)$$

где x – время, час; a и b-определенные числа, значения которых зависят от климатических условий и меняются в зависимости от рассматриваемого региона.

Характеристики чиллеров зависят от наружной температуры воздуха и изменяются прямо пропорционально изменению температуры[9,10]. Произведя анализ каталогов различных производителей можно сделать вывод, что для всех чиллеров характерно одно и то же процентное соотношение выработки тепла.

Таблица № 2

Процентное соотношение вырабатываемой теплоты

Температуры	-11	-5	-3	0	+5	+8
%	49	61	66	76,9	89	100

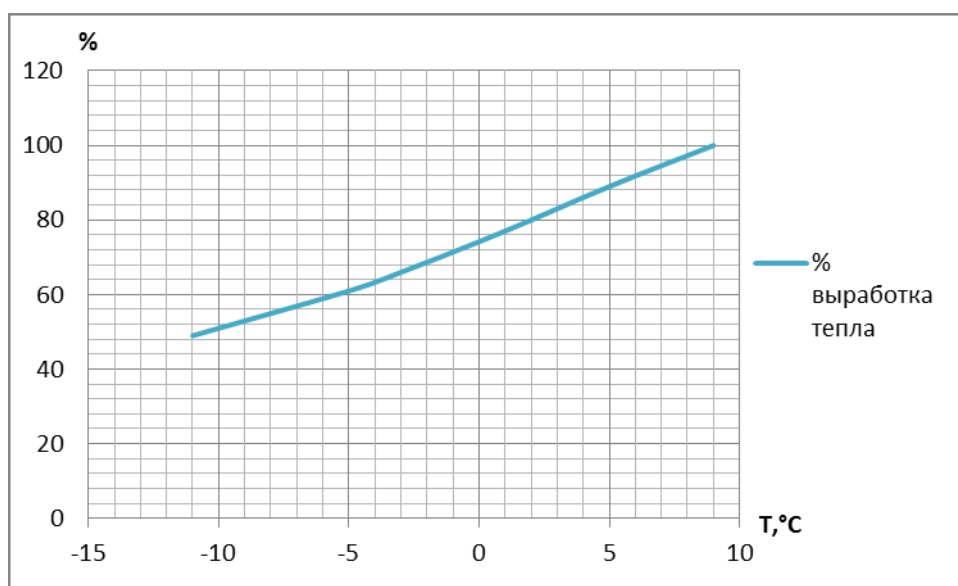


Рис.2. – График зависимости выработки тепла чиллером с тепловым насосом от температуры наружного воздуха.

В первом приближении, график изменения можно выразить в виде прямой. Достаточно неплохо график аппроксимируется полиномом.

Особенностью чиллера является невозможность выработки теплоты при температурах ниже -10°C

На рисунках представлены графики выработки и потребления теплоты для наиболее характерных южного и северного городов.

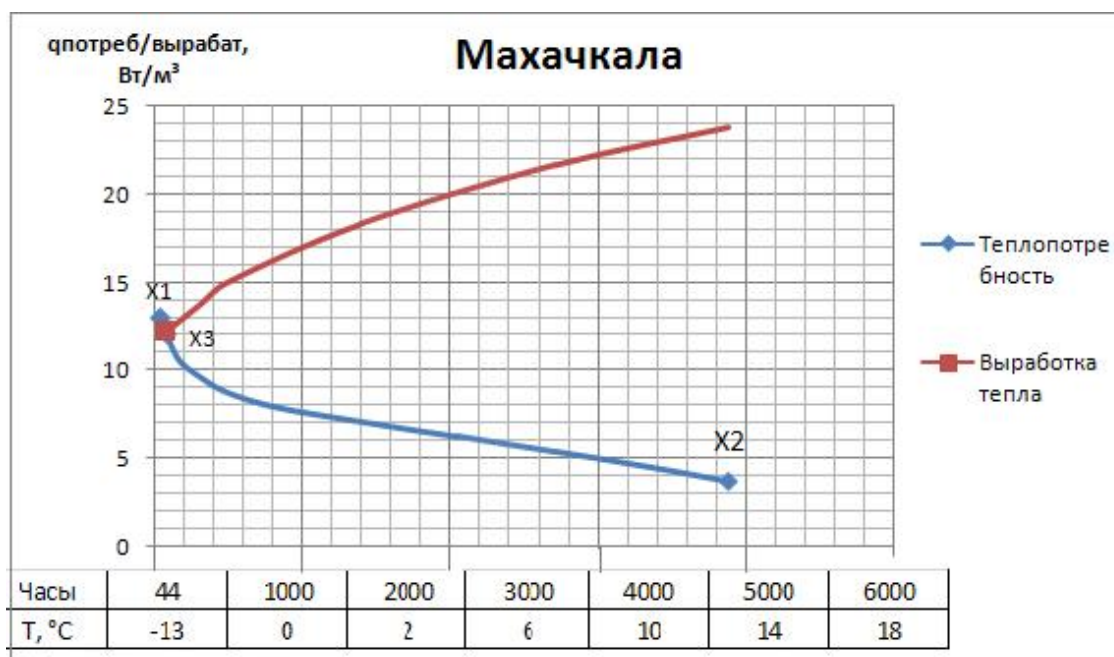


Рис.3.-Графики потребления и выработки тепла в г.Махачкала

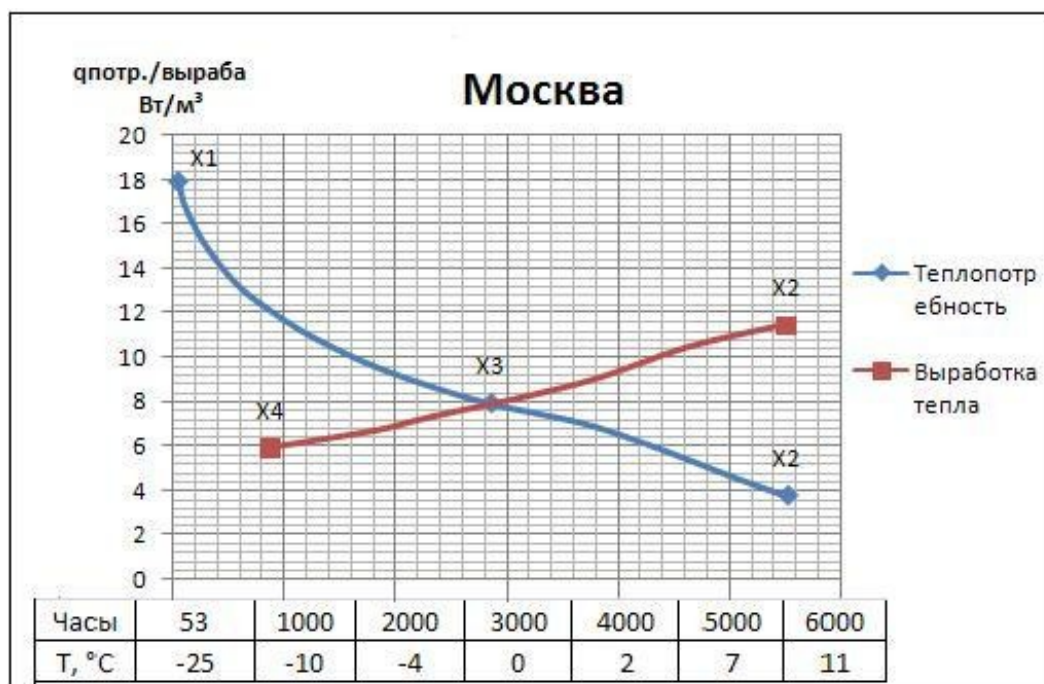


Рис.4.-Графики потребления и выработки тепла в г.Москва

Графики выработки теплоты чиллером приняты с учетом необходимой холодопроизводительности в теплый период года. В этом случае тепловая



мощность чиллера будет находиться в обратной зависимости от потребности теплоты. Пересечение двух графиков называется бивалентной точкой.

В правой части от этой точки мощность чиллера будет превышать потребность, однако при достижении низких температур наружного воздуха теплоты, вырабатываемой чиллером, будет недостаточно.

Количество потребляемой и вырабатываемой теплоты производится путем вычисления определённого интеграла по формуле Ньютона-Лейбница

$$Q_{\tau} = \int_z^r f(x) dx = F(x)|_z^r,$$

Количество теплоты, необходимое для покрытия полной отопительной нагрузки вычисляется интегралом от уравнения теплопотребности здания.

$$\int_{x_1}^{x_2} (a \cdot \sqrt[3]{x} + b) dx, \quad \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$$

x_1 - Расчетная температура наружного воздуха зимой, °С

x_2 - Температура начала отопительного периода, °С

Количество теплоты, вырабатываемое дополнительным источником тепла за отопительный период, вычисляется разницей интегралов. Интеграла от уравнения теплопотребности здания с пределами от x_1 до температуры бивалентной точки x_3 и интеграла от уравнения кривой чиллера с пределами от x_4 до x_3 .

$$\int_{x_1}^{x_3} (a \cdot \sqrt[3]{x} + b) dx - \int_{x_4}^{x_3} (a \cdot x + b) dx, \quad \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$$

x_4 - Предельная температура работы чиллера, °С

x_3 - Температура бивалентной точки, °С



Количество теплоты, вырабатываемой чиллером за отопительный период, определяется интегралом от уравнения кривой чиллера с пределами от X_4 до X_2 .

$$\int_{x_4}^{x_2} (a \cdot x + b) dx, \quad \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$$

Значения количества теплоты для различных городов сведены в таблицу 3.

Таблица № 3

Значения количества теплоты

Город	Температура бивалентной точки, °С	$Q_{от}$, кВт·ч/м ³	$Q_{чиллер}$, кВт·ч/м ³	$Q_{доп.ист}$, кВт·ч/м ³ (%)
Ростов-на-Дону	-13,5	32,6	28,9	3,7 (11,4)
Москва	-0,5	46,6	28,35	18,25 (39,2)
Воронеж	-10,3	43,0	31,7	11,3 (26,3)
Махачкала	-10,1	25,12	24,07	0,42 (1,7)
Грозный	-15,7	29,9	29,9	2,04 (6,8)

$Q_{от}$ – количество тепла, требуемое за отопительный период, кВт·ч/м³

$Q_{чиллер}$ – количество тепла, вырабатываемое чиллером, кВт·ч/м³

$Q_{доп.ист.}$ – количество тепла, покрываемое дополнительным источником тепла, кВт·ч/м³

По данным таблицы можно сделать вывод, что применение чиллеров для отопления зданий наиболее экономически выгодно в южных районах России [11], т.к количество теплоты приходящиеся на выработку



дополнительным источником значительно ниже, следовательно и расходы в южных городах на отопление зимой ниже чем в северных.

Оценка эффективности использования реверсивных чиллеров позволит подсчитать, какое количество дополнительного тепла потребуется для обогрева здания в городах с различным климатом и уточнить возможность использования чиллеров, в зависимости от стоимости дополнительного источника тепла.

Литература

1. Страхова Н.А., Лебединский П.А. Анализ энергетической эффективности экономики России. Инженерный вестник Дона , 2012, № 3. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/999

2. Камышев В.И. Тепловой насос эффективная энергосберегающая система отопления и кондиционирования. Технологии мира. 2010.№ 8(26). С.17-20.

3.Энергосбережение в зданиях. Кондиционирование и тепловые насосы. Киев: ЗНИИЭП. 2000. №1. С. 22.

4.Trushevskii S.N., Mitina I.V. Problem of heat pumps in central Russia. Applied solar energy. 2012. №Volume 48, Issue 1,. pp. 24–32.

5.Руденко Н.Н., Рыбинский В.А. Круглогодичное использование тепловых насосов. Стоительство 2009. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2009.С. 53.

6.Tomas Núñez,WalterMittelbach, Hans-Martin Henning Development of an adsorption chiller and heat pump for domestic heating and airconditioning applications. Applied Thermal Engineering. 2007. №27. pp. 2205–2212.

7.Руденко Н.Н Особенности прогнозирования эффективности работы теплового насоса. Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1). URL:ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1129



8.Новгородский Е.Е., Волошановская И.Н. Оптимизация выбора мощности кондиционера. Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №1. С. 88-89.

9.Новгородский Е.Е., Руденко Н.Н., Волошановская И.Н. Влияние режимов работы кондиционера на его энергопотребление. Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №3. С. 67.

10.Калиниченко А.Б. Использование тепловых насосов для теплоснабжения и горячего водоснабжения. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. №7. С. 16-17.

11.Везиришвили О.Ш. Тепловые насосы и экономия топливно-энергетических ресурсов. Изв. Вузов Сер. Энергетика. 1984. №7. С. 61-65.

References

1. N.A. Strakhova, P.A. Lebedinskiy. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 3. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/999

2.Kalinin I.M. Ekologicheskie sistemy. 2003. №6. pp. 3.

3.Energoberezhenie v zdaniyakh. Konditsionirovanie i teplovye nasosy [Energy efficiency in buildings. Air conditioning and heat pumps]. Kiev ZNIIER. 2000. №1. pp. 22.

4.Trushevskii S.N., Mitina I.V. Applied solar energy . 2012. №Volume 48, Issue 1, pp. 24–32.

5.Rudenko N.N., Rybinskiy V.A. Kruglogodichnoe ispol'zovanie teplovykh nasosov [Year-round use of heat pumps]. Stoitel'stvo 2009. Rostov-na-Donu. RGSU, 2009. pp. 53.

6.Tomas Núñez, Walter Mittelbach, Hans-Martin Henning. Applied Thermal Engineering. 2007. №27. pp. 2205–2212.

7.Rudenko N.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (chast' 1). URL:ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1129



8. Novgorodskiy E.E., Voloshanovskaya I.N. Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2004. №1. pp. 88-89.

9. Novgorodskiy E.E., Rudenko N.N., Voloshanovskaya I.N. Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2004. №3. pp. 67.

10. Kalinichenko A.B. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2000. №7. pp. 16-17.

11. Vezirishvili O.Sh. Izv. Vuzov Ser. Energetika. 1984. №7. pp. 61-65.