



Расчет годового энергопотребления холодильных центров

А. А. Арбатский, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ТМПУ НИУ «МЭИ», директор департамента разработки новых продуктов ТПХ «Русклимат»

Г. Н. Афонина, технолог департамента разработки новых продуктов ТПХ «Русклимат»

Введение

Ранее в материалах [1] приводилось сравнение годового энергопотребления холодильных центров различной компоновки. В данной статье мы раскроем методику расчета годового энергопотребления холодильных центров, которая применялась для расчета в работе [1]. Выдержки из данной методики вполне применимы для составления детальных технико-экономических обоснований как более точная альтернатива оценке по ESEER*.

Данная методика учитывает:

- количество дней стояния каждой температуры в течение года (исходя из статистического анализа данных [2] с применением специальной методики математического обобщения);
- изменение нагрузки холодильного центра при каждой температуре;
- режим свободного охлаждения, в том числе и для круглогодичных нагрузок;
- изменение холодильного коэффициента при различных наружных температурах и при частичных нагрузках;
- потребление дополнительной электроэнергии на доставку воды и водоподготовку для градиен с адиабатной системой;
- данные натурных наблюдений за работой холодильных машин.

* ESEER (European seasonal energy efficiency ratio) – европейский сезонный показатель энергетической эффективности, определяемый в соответствии с директивами Евросоюза согласно спецификации EECAC («Оценка энергетической эффективности и сертификация кондиционеров воздуха»).

Расчет годового энергопотребления для холодильных центров на примере города Москвы

Первоначально необходимо определить количество часов в году, в течение которых держится каждая температура из диапазона среднемесячных температур. Для обобщения задачи допустимо разделить год на расчетные периоды и выписать все теплофизические параметры для каждого периода согласно [3].

Исходя из таблицы определяем диапазон базовых параметров работы холодильных машин и сухих градирен (при наличии). Соответственно, время стояния каждой температуры из диапазона рабочих параметров можно определить по обобщенной математической модели:

$$\tau_T = 24 \sum_{k=1}^8 \gamma_T \beta n_k, \quad (1)$$

где

β – количество дискретных шагов температуры (например, от 30 до 28 °С принимается температура 30 °С – β при этом равно 2, от 6 до 0 °С принимается температура 6 °С – β при этом равно 6 и т.д.);

γ_T – суточный весовой коэффициент смещения времени стояния температуры. Определяется исходя из продолжительности темного и светлого времени суток с условием попадания более низких температур в темное время, а более высоких в светлое время (фактически это не что иное, как часть занимаемая каждой температурой из диапазона во всем периоде).

Например, для периода $k = 3$ (апрель), согласно таблице, $T_{\text{ср.макс}} = 11,6$ °С, а $\Delta T = 8,5$ °С. Таким образом, количество шагов по температуре $t = 9$, т.е. для данного периода имеет смысл учитывать время стояния каждой температуры от 8 до 16 °С с шагом в 1 °С. Сумма всех весовых коэффициентов γ_T должна быть равна единице исходя из базового определения данного коэффициента. Значит, можем определить первый и последний коэффициенты (для 8 °С и для 16 °С соответственно):

$$\gamma_{16} = d/(0,5n), \quad (2)$$

где

d – суточная доля светлого времени (0,58 в среднем для апреля);

$$\gamma_8 = 2/n - \gamma_{16}. \quad (3)$$

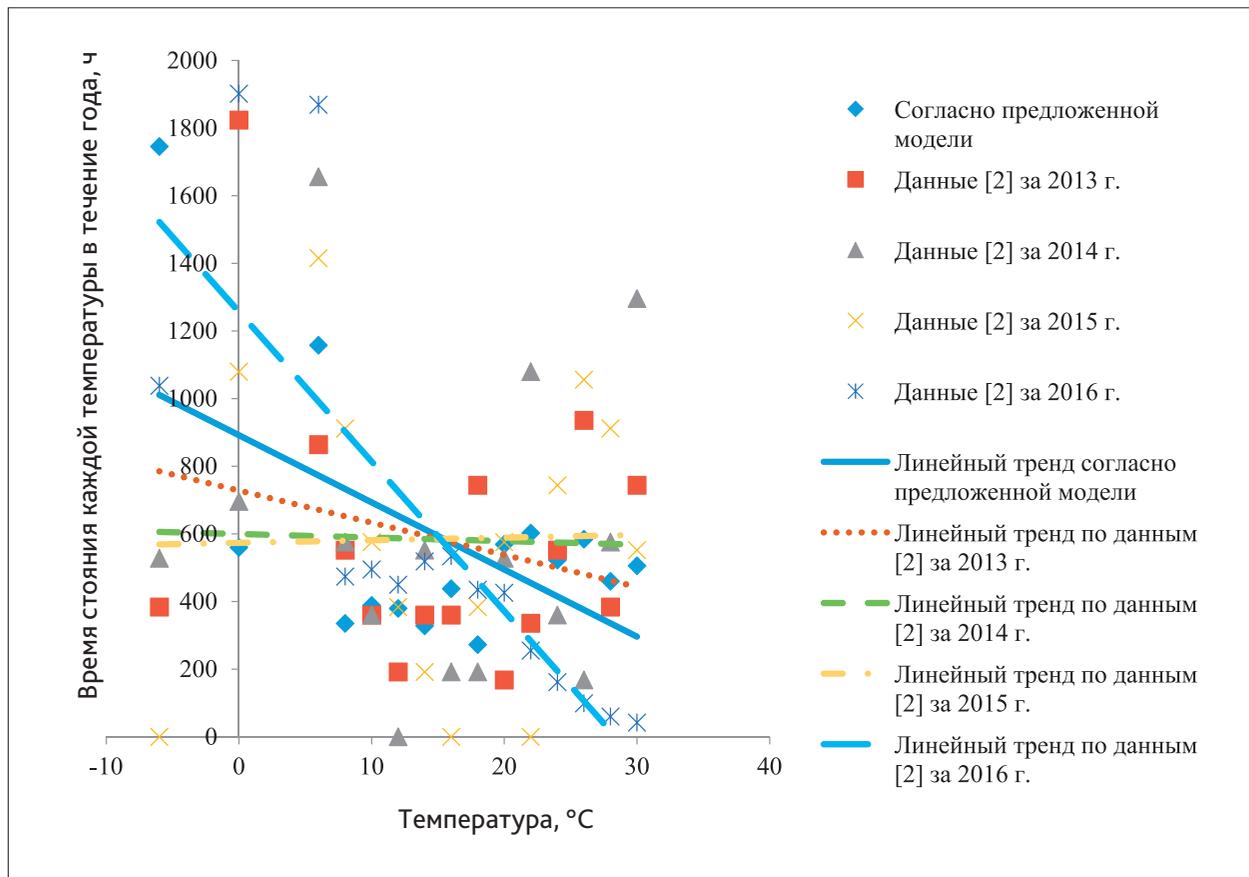
Формула 3 есть не что иное, как уравнение для суммы арифметической прогрессии, равной единице, где γ_8 – первый член арифметической прогрессии, а γ_{16} – последний.

Теперь, зная первое и последнее для расчетного диапазона значения весовых коэффициентов, несложно вычислить все промежуточные, разбив разницу между γ_8 и γ_{16} на t равных промежутков.

Таким образом, используя формулы (1)–(3), можно вычислить время стояния каждой температуры для всех периодов, учитывая, что при температуре ниже 0 °С включается режим свободного охлаждения, все температуры ниже –6 °С указываются одним значением времени.

Теплофизические параметры для различных периодов работы систем и длительность данных периодов

| Показатели | Период | | | | | | | |
|---|-----------------|-------|--------|-------|-------------|----------|---------|--------|
| | декабрь-февраль | март | апрель | май | июнь-август | сентябрь | октябрь | ноябрь |
| Номер периода k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Длительность n , сут | 90 | 31 | 30 | 31 | 92 | 30 | 31 | 30 |
| Температура воздуха $T_{\text{ср.макс}}$ (средний максимум), °С | –4,3 | 2,1 | 11,6 | 19,9 | 23,9 | 16,5 | 9,0 | 2,7 |
| Количество осадков z , мм | 145 | 41 | 41 | 67 | 133 | 66 | 71 | 56 |
| Вид осадков | Снег | Дождь | Дождь | Дождь | Дождь | Дождь | Дождь | Дождь |
| Среднесуточная амплитуда температур ΔT , °С | 6,1 | 7,4 | 8,5 | 10,4 | 10,4 | 8,6 | 5,7 | 4,6 |



■ Рис. 1. Расчетные данные по времени стояния каждой температуры в течение года согласно предложенной модели (формулы (1) – (3)) и данным [2] за последние несколько лет

На рис. 1 представлены результаты расчетов по формулам (1) – (3) по сравнению с данными [2] за различные периоды.

Из рис. 1 несложно заметить, что линейный тренд по данным согласно предложенной модели находится практически посередине, с незначительным отклонением, между линиями тренда по данным [2] за разные годы. С учетом того что линия тренда по предложенной модели пересекается с остальными линейными трендами в одной точке, можно сделать вывод, что предложенная обобщенная математическая модель дает хорошие осредненные данные, по которым с достаточно высокой точностью можно определить реальные среднегодовые температурные параметры эксплуатации.

Теперь, когда известно время стояния каждой температуры в течение года, и предполагая переход на свободное охлаждение с температуры 0 °С, можно рассчитать потребление холода всеми системами, при каждой температуре и по суммарному значению потребления холода для каждой

температуры, соответственно, рассчитать общее энергопотребление:

$$Q_{\text{вент}} = k_{\text{вент}} Q_{\text{вент.р.}}, \quad (4)$$

где

$k_{\text{вент}}$ – коэффициент потребления холода системой вентиляции в зависимости от температуры (зависит также от средней по периоду влажности воздуха);

$Q_{\text{вент.р.}}$ – расчетное потребление холода системой вентиляции.

$$Q_{\text{фан}} = (k_{\text{фан.п.}} Q_{\text{фан.р.}}) k_{\text{фан.сут.ср.}}, \quad (5)$$

где

$k_{\text{фан.п.}}$ – коэффициент загрузки фанкойлов по периодам (рассчитывается по отношению разницы внутренней температуры и наружной температуры для каждого периода к данной разнице для наиболее теплого периода);

$k_{\text{фан.сут.ср.}}$ – суточный коэффициент загрузки (рассчитывается на основании данных об

изменении потока солнечной радиации в течение суток по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», табл. 12.1. При расчете крайних значений необходимо учитывать запаздывание теплоступлений для ранних часов и остаточные теплоступления для поздних часов);

$Q_{\text{фан.р}}$ – расчетное потребление холода фанк-олами.

Потребление холода технологическими процессами индивидуально для каждой конкретной технологии.

Далее, для каждого значения холодопроизводительности и наружной температуры, необходимо пересчитать энергопотребление холодильных машин:

$$Q_{\text{эл.хол.маш}} = Q_{\text{хол}} / (EER T_{\text{конд.расч}} / T_{\text{конд.реал}}), \quad (6)$$

где

$Q_{\text{хол}}$ – суммарная потребность в холоде для каждой наружной температуры;

EER – холодильный коэффициент чиллеров в расчетном режиме;

$T_{\text{конд.расч}}$ – расчетная температура конденсации;

$T_{\text{конд.реал}}$ – температура конденсации в текущем режиме работы.

Данная формула имеет право на существование из анализа работы холодильных циклов на T-S-диаграмме с погрешностью на перегрев после сжатия не более 10% в большую сторону. Данная зависимость с точностью до 5% будет действительна для любого типа компрессоров независимо от применяемого фреона.

Потребляемую мощность сухих градирен возможно принимать одинаковой для всего периода для упрощения расчета.

При применении адиабатного орошения расход воды на орошаемые градирни возможно считать следующим образом:

$$V_{\text{сумм}} = 3600 V_{\text{гр}} - z F_{\text{гр}} / (3600 \tau_{\text{г}}), \quad (7)$$

где

$V_{\text{сумм}}$ – суммарный необходимый объем воды на орошаемые градирни за весь период, м³;

$\tau_{\text{г}}$ – продолжительность периода, ч;

$V_{\text{гр}}$ – расчетный расход воды по данным производителя, м³/с;

z – норма осадков за период, мм (по данным табл. 1 только для периодов с осадками в виде дождей);

$F_{\text{гр}}$ – суммарная площадь градирен в плане, м².

Предполагается работа в режиме орошения только при наружной температуре более 25 °С.

Для составления конечного графика энергопотребления всех систем перевести потребляемую воду в электрическую энергию можно по следующей зависимости:

$$Q_{\text{эл.воды}} = V_{\text{сумм}} \Delta P / \eta, \quad (8)$$

где

ΔP – перепад давления с учетом системы водоподготовки, подъема в скважине и перекачки воды по трубопроводам (суммарно порядка 1000 кПа: 75 м – скважина, 150 кПа – потери на водоподготовке, 100 кПа – общие потери в сетях);

η – осредненный КПД всех насосов.

Выводы

1. Разработана и опробована (результаты апробации приведены в работе [1]) методика расчета годового энергопотребления для холодильных центров различной конфигурации.

2. Точность данной методики подтверждается сравнением данных, на которых базируется основной расчет с результатами статистических замеров климатических параметров [2], а также данными натурных наблюдений за работой холодильных машин.

3. Разработанная методика позволяет производить детальную оценку годовых энергозатрат для холодильных центров различной конфигурации в равных условиях работы, не прибегая к коэффициенту ESEER и тем самым уменьшая возможность манипуляций данных производителями и поставщиками холодильных машин.

Специалисты компании «Русклимат» разработают технико-экономическое обоснование выбранной конфигурации холодильного центра абсолютно бесплатно и в случае, если изначальный выбор не был оптимальным, помогут оптимизировать конфигурацию.

Литература

1. Арбатский А.А. Лидер на климатическом рынке // АВОК. – 2017. – № 2. С. 30–32.
2. Данные метеорологических наблюдений ФГБУ «ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ».
3. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». М., 2012. ○

www.rusklimat.com