

# Енергосберегающие технологии

УДК 621.56:59.004.14

## Анализ теплопритоков и теплопотерь, кондиционирование воздуха с использованием льдохранилищ в пассивных зданиях

**Пуховой И.И., Кривошеев М.А.**

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев*

Проведен анализ теплопотерь в холодный период года и теплопритоков в теплый период года для выполнения укрупненных расчетов теплопритоков по величине теплопотерь. Величина сезонных теплопритоков необходима при расчете систем кондиционирования, в том числе с использованием заготовленного зимой естественного льда, для расчетов расхода холода и объема льдохранилища. Показано, что для крупных зданий типа офисов и гостиниц расход холода летом превышает расход теплоты на отопление в 1,3–1,5 раза. В хорошо теплоизолированных и «пассивных» зданиях объем ледяного аккумулятора на летний сезон не превышает 1–2 % от объема здания. В существующих зданиях этот объем достаточен для покрытия около 50 % нагрузки в жаркое время, что снижает установленную мощность холодильных машин.

**Ключевые слова:** теплопотери и теплопритоки в зданиях, кондиционирование воздуха, естественный лед, аккумуляторы льда.

Виконано аналіз тепловтрат у холодний період року та теплових надходжень у теплий період року для виконання приблизних розрахунків теплонадходжень за величиною тепловтрат. Величина сезонних теплонадходжень необхідна для розрахунку систем кондиціонування, у тому числі з використанням заготовленого взимку природного льоду, для розрахунку витрати холоду та об'єму льодосховища. Показано, що для великих будівель типу офісів та готелів витрата холоду влітку перевищує витрату теплоти на опалення у 1,3–1,5 рази. У добре ізольованих та «пасивних» будівлях об'єм льодяного акумулятора на сезон влітку не перевищує 1–2 % від об'єму будівлі. В існуючих будівлях цього об'єму достатньо для забезпечення близько 50 % навантаження у жарку пору, що знижує встановлену потужність холодильних машин.

**Ключові слова:** тепловтрати та теплонадходження у будівлях, кондиціонування повітря, природний лід, аккумулятори льоду.

Кондиционирование воздуха с его охлаждением становится все доступнее и считается необходимым условием комфорта в жаркие дни лета, которые наблюдались в последние годы в Украине. Однако при использовании компрес-

сионных холодильных установок расходуется много электроэнергии, а установленная мощность холодильных машин используется короткое время — до 2–3 недель, что увеличивает капитальные затраты. При определенных усло-

виях возникают возможности использования естественного льда, заготовленного зимой, что значительно снижает расход электроэнергии и установленную мощность. В отдельных случаях можно вообще обойтись без холодильных машин. В свое время были запроектированы и построены аккумуляторы естественного льда для кондиционирования воздуха в помещениях Национального банка Украины.

Холодоснабжение за счет заготовленного зимой льда, который стаивает непосредственно в бунте по методу В.А.Бобкова, описано в [1]. Лед намораживают на железобетонной площадке в виде бунта и укрывают слоем засыпной теплоизоляции. Публикаций по применению заготовленного льда для кондиционирования воздуха в больших зданиях нами не обнаружено.

Заготовка льда возможна на водоемах или на месте потребления из воды в результате распыления, послойного замораживания или формирования сосулек [1–3].

Цель работы — разработка укрупненной методики теплопритоков на основании данных по теплотерям зданий и определение удельных показателей теплопритоков не только в наиболее жаркий месяц, как рекомендует СНИП, а и в другие месяцы, что позволяет найти количество расходуемого холода по месяцам.

Эти данные могут быть использованы для укрупненных расчетов емкости сезонных аккумуляторов льда в зависимости от термического сопротивления ограждающих конструкций для различных климатических зон Украины. Такие задачи возникли в связи с новыми веяниями в строительстве энергоэффективных зданий, известных под следующими названиями:

- энергоэффективное здание (energy efficient building);
- здание с низким энергопотреблением (low energy building);
- здание с ультранизким энергопотреблением (ultra low energy building);
- здание с нулевым использованием энергии (zero energy building);
- пассивное здание (passive building);
- биоклиматическая архитектура (bioclimatic architecture);
- здоровое здание (healthy building);
- умное здание (smart building);
- интеллектуальное здание (intelligent building);
- здание высоких технологий (high-tech building);
- экологически нейтральное здание;
- устойчивое здание (sustainable building).

В настоящее время не существует единой терминологии относительно энергоэффектив-

ных зданий. В Украине определенное распространение получило название «пассивный дом» (нем. Passivhaus, англ. passive house). Автором концепции «пассивного дома» является Вольфганг Файст (Wolfgang Feist) из Германии, ныне профессор Университета в г. Инсбрук (Австрия).

«Пассивное» здание имеет следующие основные особенности: обладает чрезвычайно усиленной теплоизоляцией, практически исключает тепловые мосты, его конструкции исключают инфильтрацию, оно оптимально ориентировано по сторонам света, увеличивая теплопритоки от солнца в холодное время года и снижая их летом, а инженерное обеспечение максимально рекуперировывает тепловую энергию, покидающую здание с вентиляционным воздухом. В таких домах предполагается снижение расхода тепловой энергии на отопление до 15–30 кВт·ч/м<sup>2</sup> площади за отопительный сезон. Такой подход позволяет также уменьшить и летние теплопритоки.

В построенных в Германии и Австрии пассивных зданиях проблема кондиционирования воздуха решается за счет использования летом артезианской воды для охлаждения центральных массивных конструкций, находящихся посередине здания. Климат большей части Западной Европы не способствует заготовке льда зимой, а с продвижением вглубь Евразии морозы усиливаются, появляется возможность заготовки и производства естественного водного льда с его последующим использованием летом. Та же ситуация наблюдается и в Северной Европе. Использование льда для летнего кондиционирования воздуха позволяет уменьшить расход извлекаемой из-под земли воды и электроэнергии на эти нужды.

Ныне в Украине для первой, наиболее холодной, зоны требуется термическое сопротивление ограждающих конструкций стен составляет  $R = 2,8 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$ , а ранее термическое сопротивление теплопередаче стен зданий составляло менее  $1 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$ .

#### **Удельные показатели теплотерь и расхода холода на кондиционирование**

Принята европейская классификация пассивных зданий по величине теплотерь на 1 м<sup>2</sup> площади здания за отопительный сезон: пассивное здание — менее 15, условно пассивное — менее 30, малого потребления энергии — менее 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> за сезон. Рекомендованное ныне термическое сопротивление стен  $R = 2,8 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$  соответствует классификации «новый дом» с потерями 97 кВт·ч/м<sup>2</sup> за сезон и «старый дом»

(построенный до 1970 г.) с теплопотерями менее  $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  за сезон ( $R < 1 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}$ ). К классификации «новый дом» также относят дома с удельными теплопотерями  $< 150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  за сезон.

Расчеты [4] показали, что для жилых зданий с площадью до  $3000 \text{ м}^2$  при рекомендованных до 1980 г.  $q_v = 0,49 \text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$  рассчитанное удельное потребление тепловой энергии на отопление составляет для Киева 114, для Харькова  $132 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ .

Возможное расхождение с новым домом может быть из-за качества строительства и низкого расхода на вентиляцию (при открывании окон), что зимой в Украине бывает редко, а значения  $q_v$  вносились в нормы по эксплуатационным результатам построенных зданий.

Длительность отопительного сезона в Западной Европе меньше, среднемесячные температуры выше, и поэтому при одинаковых удельных теплопотерях требования к теплоизоляции зданий в Украине должны быть выше. В наиболее холодной 1-й зоне Украины следует пока стремиться к выполнению условий для условно пассивного здания.

Данные о тепловых потерях при отоплении могут быть использованы для укрупненного месячного расчета теплопритоков, которые наблюдаются при кондиционировании. Мы провели расчеты при заданной энергии на отопление  $e$  ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ) величин удельной средней за сезон мощности на отопление  $q$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), на  $1 \text{ К}$  разности температур при средней температуре отопительного сезона  $-1,1 \text{ }^\circ\text{C}$   $q_s$  ( $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ) и на  $1 \text{ м}^3$  здания  $q_v$  ( $\text{Вт}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$ ) для различных вариантов домов по упомянутой выше классификации для условий Киева, принимая длительность отопительного сезона 187 сут. Средняя за сезон удельная мощность определена делением расходуемой за сезон энергии (удельных теплопотерь) на время отопительного сезона ( $c$ ). Результаты расчетов сведены в табл.1.

Известны данные фирмы Sapio [5], что на  $1 \text{ м}^2$  площади необходима электрическая мощность кондиционера от 30 до 50 Вт. Считаем, что для 5-го месяца — 30, для 6-го и 8-го —

40, для 7-го —  $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . При холодильном коэффициенте  $\epsilon \approx 3,5$  получим холодопроизводительность холодильной машины, которая компенсирует теплопритоки в здание, соответственно 105, 140 и  $175 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Даже при холодильном коэффициенте  $\epsilon = 2$  удельная мощность будет изменяться от 69 до  $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$  и, как видно из табл.2, для наименее изолированных зданий превышает среднегодовые значения мощности на отопление  $q$  в 1,5–3 раза, а для улучшенных зданий в 10–15 раз. К сожалению, в [3] не указаны термические характеристики здания. При максимальной разнице температур между атмосферой и жилищем  $10 \text{ К}$  величины  $q_s$  будут изменяться от 10 до 18 при  $\epsilon = 3,5$  и от 7 до 10 при  $\epsilon = 2$ , что тоже в 5–10 раз превышает табличные данные. Из этого следует вывод о значительном влиянии летнего солнечного излучения, которое фактически зимой без специальных систем солнечного отопления мало влияет на теплопотери здания. С использованием данных [5], значения  $q_s$  следует умножать на 5–10 для дня, когда есть солнечная радиация.

Нами проведен анализ потребления электроэнергии на кондиционирование воздуха в киевской гостинице «Radisson». Пик электропотребления приходится на летние месяцы, когда работают холодильные установки (ХУ). По сравнению с месяцами, в которые не требуется охлаждение воздуха, расход электроэнергии возрастает от апреля до июля в 1,06–1,5 раз. Удельный расход тепловой энергии в гостинице, найденный по потреблению природного газа, вычитанием из общего расхода газа летнего расхода на горячее водоснабжение и отнесенный на  $1 \text{ К}$  температурного перепада в 2–4 раза меньше такого же показателя расхода холода, найденного по потреблению электроэнергии для дневного времени летом (отопление круглосуточное).

Таким образом, данные по теплопотерям зимой можно использовать для укрупненных расчетов холодильной мощности летнего дневного кондиционирования умножением в среднем на 5, а при расчете расхода холода и электроэнергии

**Таблица 1. Удельные энергетические показатели теплопотерь для зданий**

Класс здания	$\epsilon_k, \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ (сезон)	$q, \text{ Вт}/\text{м}^2$	$q_s, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	$q_v, \text{ Вт}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$
Пассивный	15	2,12	0,10	0,033
Условно пассивный	30	4,23	0,20	0,066
Малого потребления	60	8,46	0,40	0,132
Новый ( $R = 2,8$ )	97	14,1	0,64	0,213
Старый (до 1970 г.)	300	42,00	2,00	0,66

летом следует принимать продолжительность дня 12–14 ч с разностями температур 5 К.

По данным статистики Евросоюза, удельный расход электроэнергии на кондиционирование воздуха во Франции составил в 1995–1997 гг. около 70 кВт·ч/м<sup>2</sup> электроэнергии за год для торговых и офисных сооружений [4]. При холодильном коэффициенте  $\varepsilon = 3,5$  хладопроизводительность ХУ составит около 245 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год, что примерно равно расходу теплоты зимой для старых домов за отопительный сезон. Поэтому при расчете количества произведенного холода можно брать удельные показатели для отопления  $E_3$  из табл.2 с учетом климата страны, снижая показатели по мере отдаленности от Франции на восток и север. Данные [3], переведенные нами в энергию для мая-августа, фактически совпадают с данными для Франции. Естественно, что в конкретном здании могут быть некоторые отклонения в зависимости от ориентации здания, степени его остекления и летней защиты от солнечного излучения.

Проанализируем практические данные по расходу электроэнергии на кондиционирование воздуха в киевской гостинице «Radisson». Эти данные получены сравнением расхода электроэнергии в весенние, летние и осенние месяцы с зимними месяцами, когда кондиционирование воздуха с его охлаждением отсутствовало. Цифры могут быть на 5–10 % заниженными в связи с меньшим расходом электроэнергии на освещение летом, однако они достоверны, так как взя-

ты из фактических помесечных счетов за электроэнергию в 2007 г. Данные о расходе электроэнергии  $e_3$ , рассчитанном удельном ее расходе на 1 м<sup>2</sup> и удельном расходе холода при различных холодильных коэффициентах холодильных машин  $\varepsilon$  приведены в табл.2. Выпадает из закономерности август, что объясняется массовыми отпусками в Европе и у нас, кроме того, для ноября цифра может быть завышенной из-за дополнительных расходов на освещение в связи со значительным сокращением продолжительности светового дня. Площадь помещений, которые кондиционируются, составляет 17 тыс. м<sup>2</sup>, отапливаемая площадь – 21 тыс. м<sup>2</sup>.

Зная средние ежемесячные расходы природного газа на отопление и вентиляцию и вычитая расход природного газа на горячее водоснабжение по летним показателям расхода, когда нет отопления и подогрева вентиляционного воздуха, мы также провели расчеты потребляемой ежемесячно тепловой энергии на отопление и удельного ее расхода на 1 м<sup>2</sup>. При этом принималась теплота сгорания 35 мДж/нм<sup>3</sup> и КПД котла 0,9 (1 кВт·ч равен 3600 кДж).

Данные по расчету удельных показателей расхода тепловой энергии на отопление приведены в табл.3.

Сравнивая расходы теплоты и холода видим, что при наиболее вероятных значениях холодильного коэффициента равных 3 и 3,5 летом удельный расход холода за теплый сезон имеет несколько большее значение, чем удель-

**Таблица 2. Расход электроэнергии и холода на кондиционирование воздуха в гостинице**

Месяц	$E_3$ , тыс. кВт·ч	$e_3$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	$e_x$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>			
			$\varepsilon = 2$	$\varepsilon = 3$	$\varepsilon = 3,5$	$\varepsilon = 4$
4	9	0,52	1,04	1,58	1,82	2,08
5	85	5	10	15	17,5	20
6	135	7,94	15,9	23,82	27,19	31,76
7	139	8,77	17,5	36,31	30,69	35,08
8	89	5,23	10,5	15,69	18,3	20,92
9	118	6,94	25,9	20,82	24,29	27,76
10	109	6,41	12,9	19,23	22,43	25,64
11	83	4,88	10	15	17,5	30
Всего	767	45,69	91,6	131,37	160,2	183,16

Примечание.  $E_3$ ,  $e_3$  – общие и удельные расходы электроэнергии;  $e_x$  – удельные расходы электроэнергии на холод.

**Таблица 3. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию в гостинице**

Показатель	Месяцы							Всего за сезон
	10	11	12	1	2	3	4	
$E_T$ , тыс. кВт·ч,	160	140	440	660	440	300	100	2240
$e_T$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	7,61	6,66	20,95	31,42	20,95	14,29	0,476	102,36

Примечание.  $E_T$ ,  $e_T$  – общие и удельные расходы тепловой энергии.

ный расход теплоты за отопительный сезон, что объясняется влиянием внутренних тепловыделений и солнечного излучения на стены и окна здания. Следует помнить, что охлаждается также и вентиляционный воздух, точно так же, как он нагревается зимой. Холодильный коэффициент ХУ в октябре, ноябре и апреле будет выше, чем в летние месяцы из-за более низкой температуры атмосферного воздуха.

Таким образом, в условиях Киева для гостиц удельный расход холода на 1 м<sup>2</sup> наиболее вероятен в пределах 130–160 кВт·ч за летний сезон и в 1,55 раза ниже среднестатистических данных по расходу электроэнергии для Франции в офисах и торговых центрах (45 против 70 кВт·ч). Различие можно объяснить более жарким климатом Франции и большим количеством людей, работающих постоянно в офисах на компьютерах, посещающих торговые центры и выделяющих около 100 Вт на человека. Полученные в расчетах цифры имеют один порядок и близкие значения, поэтому можно признать наши расчеты достоверными.

#### **Расчет количества льда для кондиционирования воздуха летом в зданиях с разными теплоизолирующими конструкциями**

Полученные нами выше удельные показатели дают возможность ориентировочно находить расход холода по показателям расхода теплоты на отопление зданий с увеличенным термическим сопротивлением ограждающих конструкций. Принимаем удельные теплопритоки на 30 % выше удельных расходов теплоты на отопление. Не рассматриваем здания, в которых удельный расход теплоты на отопление и вентиляцию выше 100 Вт/м<sup>2</sup>. Теплота плавления льда составляет около 334 кДж/кг, или на 1 кВт·ч необходимо расплавить 10,8 кг льда. При хранении льда возможна неплотная его закладка, коэффициент увеличения необходимого объема льдохранилища принимаем равным 1,1, а КПД аккумуляирования — 0,7. Расчеты проведены для двух вариантов: при полной замене холодильной нагрузки; при снижении ее на 50 % для снятия пиковых нагрузок в июне-августе.

Для пассивного, условно пассивного домов, дома малого потребления и нового здания на 1000 м<sup>2</sup> необходимо соответственно 300, 600, 1120 и 1420 т льда для покрытия всей нагрузки на кондиционирование воздуха. Согласно [1], лед в XIX–XX ст. хранили в аккумуляторах от 100 до 10 000 м<sup>3</sup>.

Куб с размерами сторон от 6 до 10 м ледяного хранилища достаточен для покрытия всей

нагрузки кондиционирования здания площадью 1000 м<sup>2</sup> в пассивных, условно пассивных зданиях и зданиях малого потребления. Для гостицы типа рассмотренной выше площадью 20000 м<sup>2</sup> такой объем аккумулятора будет покрывать около 50 % холодильной нагрузки и снизит установленную мощность холодильной машины в 2–3 раза. Аккумулятор будет занимать менее 1–2 % объема здания.

Возможно также предварительное охлаждение атмосферного воздуха грунтом, что еще может примерно в 2 раза снизить объем ледяного аккумулятора.

#### **Выводы**

Удельные расходы холода за сезон для кондиционирования воздуха превышают удельные расходы теплоты на отопление в 1,3–1,5 раза.

Данные по удельным теплопотерям могут быть использованы для укрупненных расчетов удельных расходов холода на кондиционирование воздуха.

В пассивных, условно пассивных домах и зданиях малого потребления возможно полное обеспечение кондиционирования воздуха льдом, заготовленным зимой.

Объем ледяного аккумулятора для указанных зданий занимает не более 1–2 % общего объема здания.

В существующих зданиях новой постройки целесообразно обеспечивать до 50 % холодильной нагрузки заготовленным льдом, сохранив объем аккумуляторов до 2 % объема здания, что позволит уменьшить мощность и стоимость холодильной машины за счет снятия пика нагрузки в жаркий период года.

#### **Список литературы**

1. Бобков В.А. Производство и применение водного льда. — М. : Госторгиздат, 1961. — 167 с.
2. Пуховой И.И., Ляхович Л.Н. Энергетические и экологические показатели производства и аккумуляирования льда, заготовленного зимой в Украине // Пром. теплотехника. — 2004. — Т. 26, № 5. — С. 67–71.
3. Пуховий І.І., Ляхович Л.М.. Експериментальні дослідження процесів формування водного льоду в штучних бурульках // Енергетика : Економіка, технології, екологія. — 2004. — № 1. — С. 41–44.
4. Економія природного газу при заміні котлів тепловими насосами та використанні теплоти кристалізації води, як альтернативи теплоті ґрунту // Відновлювана енергетика. — 2006. — № 1. — С. 15–19.
5. Bruno Herzog. Puits canadien. — <http://www.batirbio.org.html>.
6. <http://epp.eurostat.es.europa.eu/cache/>  
Поступила в редакцию 08.07.11



## The Analysis of Heat Inputs and Losses, Air Conditioning with Ice Storage Use in Passive Buildings

**Puhovoj I.I., Krivosheev M.A.**

*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev*

The analysis of heat loss in cold season and heat gains in warm season with the purpose to achieve the possibility of heat gains estimation calculations by heat loss amount is executed. The amount of season heat gains is required for conditioning systems design including natural ice application stored up in winter, for cooling capacity and volume of cool storage calculations. It is displayed that for large buildings such as offices and hotels cooling load during summer exceeds heat consumption for heating in 1,3–1,5 times. In well-insulated and «passive» buildings the volume of ice storage for the summer season does not exceed 1–2 % of building volume. In existing buildings, this amount is sufficient to cover about 50 % of the load in a warm season, reducing the installed capacity of chillers.

**Key words:** buildings heat losses and heat inputs, air conditioning, natural ice, ice thermal storage.

Received June 8, 2011

Передплату  
подовжено!

Передплатіть  
наше видання  
на 2012 рік

У кожному  
поштовому  
відділенні  
України!

А також  
на сайті  
**www.presa.ua**

Каталог  
видавництва  
«ПРЕСА»  
2012  
I квартал

Каталог  
України  
2012  
рік

Подписывайтесь на журнал  
«Энерготехнологии  
и ресурсосбережение»  
(индекс 74546)

на 2012 г.

по Каталогу изданий Украины,  
Каталогу Агентства «Роспечать»,  
Сводному Каталогу агентства  
«УКРИНФОРМНАУКА»

**Информацию о журнале  
и правилах оформления статей  
можно найти на сайтах:**

<http://www.ingas.org.ua/index.files/Page765.html>  
<http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/ETRS/index.html>