



К ВОПРОСУ О НОРМАТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ЛИЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГРЕЮЩЕГО ПОЛА С ЭЛЕКТРОКАБЕЛЬНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ

Д.И.Розинский, В.Б.Шевелев, Л.Ф.Черных, П.П.Полевой

В большинстве европейских стран существенный вклад в потребление "ночной" электроэнергии вносят системы электрического отопления, работающие по теплоаккумуляционному принципу. Этот принцип сам по себе не нов, в частности, наиболее древнее печное отопление работает именно по принципу аккумуляционно-прерывистого потребления энергии: в определенный период суток печь протапливают, а затем в течение всего остального времени помещение обогревается за счет теплоты, аккумулированной кладкой печи. Если заменить сжигание топлива нагревом кладки в ночное время от электрических высокотемпературных нагревателей, получатся так называемые ТАПы — тепло-аккумулирующие приборы, которые обогревают помещение днем, потребляя электроэнергию ночью.

Существенный недостаток ТАПов — они довольно громоздки и занимают часть полезной площади помещения. Отсюда стремление повысить температурный уровень электронагрева до 800...900 °С, что, однако, резко снижает срок эксплуатации и требует применения специальных материалов, что удорожает изготовление ТАПов. Всего этого можно избежать, если использовать в качестве теплового аккумулятора пол помещения, проложив в нем систему нагревательных элементов. Так как пол имеет большую площадь, температурный уровень процесса теплообмена многократно снижается: в качестве нагревателей достаточно использовать электрические кабели, а как аккумулятор теплоты — слой обыкновенного бетона.

Проведенные нами исследования показали, что при использовании электрической кабельной системы отопления (ЭКСО) в аккумуляции тепловой энергии при "зарядке" участвует не только этот слой бетона, но и стены, потолок и мебель помещения. Это объясняется тем, что только примерно половина теплоты от пола к воздуху помещения передается непосредственно конвекцией, а остальное количество теплоты при зарядке излучается на стены и другие предметы помещения, нагревая их на 3...4 °С. Затем аккумулированная в них теплота расходуется на нагрев внутреннего воздуха и компенсацию тепловых потерь помещения в дневной период. Участие в теплоаккумуляционном процессе всей массы ограждений помещения приводит к тому, что необходимая температура зарядки пола снижается. Тем не менее, вопросы обеспечения нормативного значения максимальной температуры поверхности греющего пола являются наиболее сложными при проектировании помещений, обогреваемых ЭКСО. Учитывая, что ЭКСО наиболее перспективная система электрического отопления и давно признана в западных странах, эти вопросы весьма актуальны и заслуживают подробного рассмотрения [1, 2].

Прежде всего разберемся, что такое нормативная максимальная температура греющего пола.

Действующие в Украине нормы [3] для любых систем отопления помещений с постоянным пребыванием людей, к которым относятся жилые помещения, устанавливают предельную температуру греющей поверхности пола 26 °С. Температуру поверхности греющего пола по оси нагревательного элемента допускается принимать до 35 °С. В ранее действовавших нормах [4] речь шла о средней температуре поверхности пола, которая для помещений с постоянным пребыванием людей не должна была превышать 26 °С, а по оси нагревательных элементов допускалась до 35 °С.

Понятно, что термины средний и предельный далеко не синонимы. Если раньше [4] на поверхности реального пола допускались как участки с температурой до 35 °С по оси нагревательных элементов, так и более холодные участки (например, 20 °С) в промежутках между ними, то существовавшая норма средней температуры понималась как средняя по площадям F_i с различной температурой t_i поверхности, т.е. должны были выполняться условия

$$26 \geq t_{cp} = \frac{\sum t_i F_i}{\sum F_i}$$

В этом случае температуру 35 °С по оси нагревательных элементов можно назвать предельной температурой греющей поверхности, так как на всех других участках пола она ниже этого предела. С изменением [3] этой нормы указание о предельной температуре 26 °С лишено смысла, поскольку несколькими строчками ниже установлен другой предел — 35 °С. Очевидно, что имеет место путаница в терминах и данная норма нуждается в уточнении.

Кроме того, ни в одном из нормативных документов [3, 4] не дается ответ на вопрос, какие допускаются отклонения от указанных средних и предельных значений температуры поверхности пола в течение суток. Это создает большие трудности при реализации теплоаккумуляционного режима работы ЭКСО. Например, если при расчетной для отопления температуре наружного воздуха $t_n = -25$ °С придерживаться рекомендации норм и сделать ЭКСО со средней по поверхности температурой пола 26 °С, то для того, чтобы иметь возможность выключить отопление днем, его обязательно нужно будет перегреть ночью выше значения предельной температуры.

Отсюда следует, что изложенные в нормативной документации [3,4] требования к системам отопления жилых помещений вообще не содержат никаких данных для конструирования греющих полов, предназначенных для работы в теплоаккумуляционных режимах. В дальнейшем Госстроем Украины планируется разработка и введение специального стандарта по ЭКСО, работающей в аккумуляционно-прерывистом режиме. Однако в настоящее время такие стандарты в Украине и других странах бывшего СССР отсутствуют. Поэтому имеет смысл дополнительно проанализировать нормы, действующие в западных странах, где отопление помещений нагретым полом более распространено.

Наиболее фундаментальные научные исследования теплообмена человека с помещением, результаты которых положены в основу практически всех западных норм, изложены в работах французского ученого Андре Миссенарда. Им введено понятие условной сухой результирующей температуры ступни человека и даны расчетные зависимости для ее определения, в котором участвуют температура поверхности пола (предполагается, что она равномерная), температура воздуха и ряд эмпирических коэффициентов, зависящих от свойств материала пола, шага между нагревательными элементами и их температурой. В итоге сделан вывод, что понятие предельной температуры поверхности пола имеет смысл только в сочетании с температурой воздуха в помещении. Приводятся данные согласно которым для того, чтобы можно было считать удовлетворенными 90 % наблюдаемых лиц необходимо, чтобы при температуре воздуха 17 °С температура пола была порядка 28 °С. Автор считает эту температуру предельной для пола жилых помещений [5].

Наиболее подробное и четкое изложение нормативных требований и правил проектирования помещений с ЭКСО дано в специальном стандарте DIN 44 576, введенном в ФРГ в марте 1987 г. [6], где приводятся также рекомендуемые режимные

характеристики. В соответствии с немецким стандартом для помещений с аккумуляционно-прерывистым отоплением ЭКСО введено такое важное понятие, как "период использования помещения". Для жилых помещений это период с 7 до 22 ч, т.е. время, когда ступни ног человека, как правило, соприкасаются с полом. Другим важным понятием является "средняя по времени температура поверхности пола", которая нормируется в данном стандарте. Также введена нормируемая величина T_E , характеризующая действие избыточной температуры поверхности пола в течение того же периода использования помещения. Эта величина измеряется в градусо-часах и определяется из выражения:

$$T_E = (\theta_{F_{max}} - \theta_{F_{cp}}) \cdot \Delta\tau / 2, \text{ где}$$

$\theta_{F_{max}}$ - избыточная температура поверхности пола;

$\theta_{F_{cp}}$ - средняя по времени температура поверхности пола;

$\Delta\tau$ - продолжительность действия избыточной температуры.

Все перечисленные величины определяются в период использования помещения. Требованиями стандарта установлено предельное значение $T_E \leq K \cdot \text{ч}$.

Кроме того, в немецком стандарте введено понятие *границных зон*, в которых температура поверхности пола может достигать 35 °С. К таковым относятся, например, участки пола шириной не более 1 м, примыкающие к наружным стенам с окнами. Границные зоны нельзя закрывать предметами обстановки, прилегающими к полу (ковры, мебель и т.д.).

Приведен также ряд других полезных указаний по конструированию и расчету пола, работающего в теплоаккумуляционном режиме. Подробный анализ немецких норм с целью разработки рекомендаций по конструированию ЭКСО для жилого сектора Украины и нормативов для их проектирования является самостоятельной задачей [7]. Однако на данном этапе при экспериментальном проектировании жилых помещений с ЭКСО могут быть использованы рекомендации, содержащиеся в нормативных документах западных стран, которые имеют большой опыт эксплуатации ЭКСО в жилых зданиях, в том числе массовой застройки.

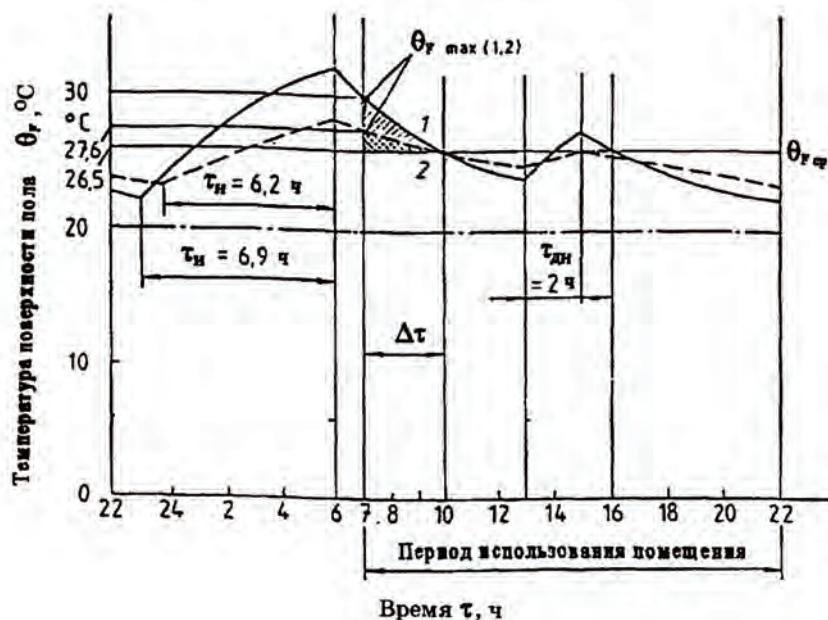


Рис.1. Пример определения действия избыточной температуры поверхности пола:

... 1 - при толщине теплоаккумулирующего слоя $\delta = 60$ мм;

... 2 - при толщине теплоаккумулирующего слоя $\delta = 120$ мм;

$\theta_{F_{max}}$ - избыточная температура поверхности пола в период использования помещения;

$\theta_{F_{cp}}$ - средняя по времени температура поверхности пола в период использования помещения;

$\Delta\tau$ - продолжительность действия избыточной температуры за период использования помещения;

τ_n - продолжительность ночной зарядки пола;

$\Delta\tau$ - продолжительность дневной подзарядки.

Рассмотрим, к примеру, теплоаккумуляционный режим работы ЭКСО, рекомендуемый в соответствии с DIN 44576 и приведенный на рис. 1. Числовые значения, указанные в оригинале, полностью сохранены.

Как показывает анализ, приведенных на рис. 1 данных, средняя по времени температура основной части пола (без граничных зон) по немецким нормам примерно соответствует украинской норме 26 °С. Ограничения температуры поверхности пола касаются только периода использования помещения с 7 до 22 ч и определяются, как уже говорилось, по нормируемой величине $T_E < 4 \text{ K} \cdot \text{ч}$. В остальное время температура может быть существенно выше (на рис. 1 достигает примерно 32 °С) и это превышение не регламентировано. В граничных зонах та же средняя по времени температура не должна превышать 35 °С.

Нами была выполнена экспериментальная проверка возможности соблюдения норм DIN 44576 по температуре поверхности пола в условиях жилых помещений Украины. Эксперименты проводились на модели жилого помещения в климатическом комплексе КиевЗНИИЭПа при температуре наружного воздуха $t_n = -25$ °С, соответствующей расчетной наружной температуре для отопления в наиболее холодных областях Украины. Результаты опыта с одной из конструкций

ЭКСО, разработанной авторами, приведены на рис. 2. В оборудовании пола была предусмотрена следующая несложная автоматика:

- регулятор максимальной температуры пола, выключающий греющие кабели при достижении на поверхности пола 28 °С;
- регулятор температуры воздуха в помещении, который включал дополнительный электрический нагревательный прибор (в данном эксперименте настенный конвектор) при снижении температуры воздуха до 18° С.

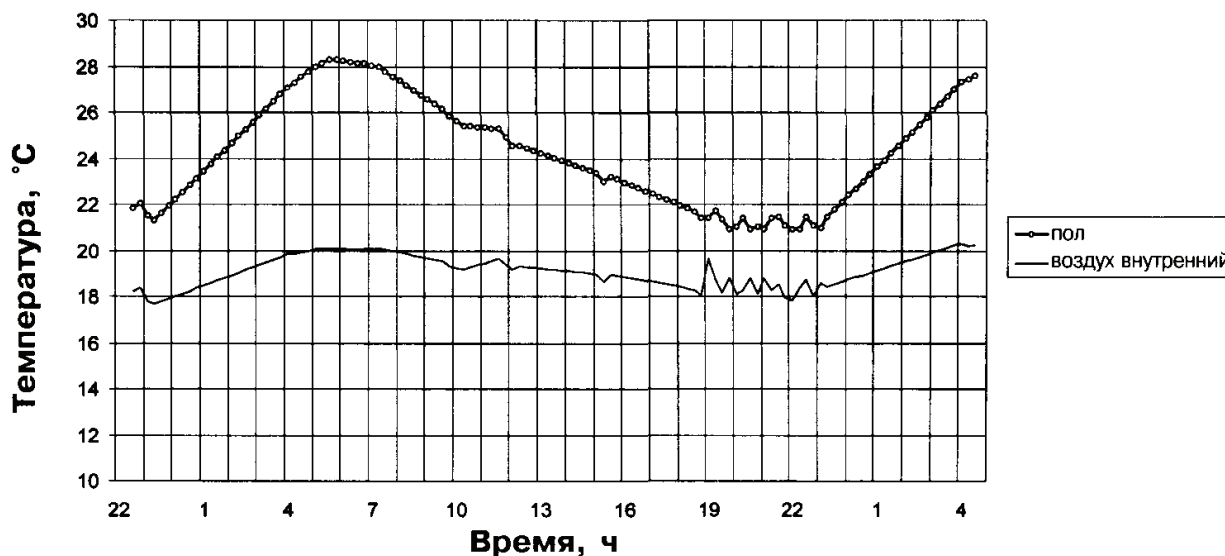


Рис. 2. Температуры пола и воздуха при $T_H = -25\text{ }^\circ\text{C}$.

Нагрев пола включался в 23 ч. Примерно в 5 ч 30 мин. температура его поверхности достигала 28 °С и регулятор начинал работать в режиме "выключения-включения" с интервалом около 25 мин. В 7 ч утра подача электроэнергии в систему нагрева прекращалась и до 23 ч пол остывал. Когда температура воздуха в помещении снижалась до 18 °С, автоматически включался конвектор (нагреватель), периодичность "включения-выключения" конвектора составляла 25...30 мин. Общая продолжительность периода дневного подогрева составила 4 ч, из них чистое время работы конвектора менее двух часов. Запись температур производилась автоматически, при этом температура воздуха определена как средняя из показаний 43 термодатчиков, а температура поверхности пола — как средняя по 5 зонам с 15 датчиками.

Если сопоставить полученные результаты с рекомендациями DIN 44576, то в период использования помещения, т.е. с 7 до 22 ч имела место избыточная температура $\theta_{Fmax} = 28\text{ }^\circ\text{C}$, длительность действия которой составила $\Delta\tau = 3\text{ ч}$, (с 7 до 10 ч утра). Отсюда находим

$$T_E = (\theta_{Fmax} - \theta_{Fcp}) \cdot \Delta\tau/2 = (28 - 26) \cdot 3/2 = 3\text{ К} \cdot \text{ч}.$$

Нужно также отметить, что амплитуда колебаний температуры воздуха в данном эксперименте составляет $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, по показателям комфортности помещение с ЭКСО существенно лучше, чем это допускается действующими нормами для аккумуляционно-прерывистого отопления.

Следовательно, испытанная в расчетных для Украины условиях, конструкция ЭКСО удовлетворяет западным санитарным нормам, приведенным в DIN 44576.

Полученный опыт испытания в условиях, приближенных к реальным, в дальнейшем будет использован при разработке отечественной нормативно-технической базы, необходимой для оснащения жилых помещений электрическими кабельными системами отопления.

Литература

1. Шульга Ю.И., Розинский Д.И., Божко В.М., Громадский Ю.С., Долинский А.А., Круковский П.Г., Тимченко Н.П., Шевелев В.Б., Черных Л.Ф., Полевой П.П. Электротеплоаккумуляционное отопление как составляющая европейского пути развития систем отопления в Украине.
2. Розинский Д.И. Электрические кабельные системы отопления (ЭКСО). Сб. "Промислова електроенергетика та електротехніка". — К.: 2001, № 3 - С. 27-40.
3. Изменение № 1 СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование" / Госстрой Украины.— К.: Укрархбудшформ, 1998. — 19 с.
4. СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование".
5. Миссенард А. "Лучистое отопление и охлаждение". — М.: Стройиздат, 1961.-283 с.
6. DIN 44 576 "Немецкий стандарт. Электрическое отопление помещений. Аккумуляционное отопление нагретым полом".
7. Шаповал В.З., Розинский Д.И., Тимченко Н.П., Круковский П.Г. Анализ украинского и международного комплексов нормативной документации по электротеплоаккумуляционному отоплению греющим полом и необходимость их гармонизации.