

УДК 644.1

**БАСОК Б.И.<sup>1</sup>, КРАВЕЦ В.Ю.<sup>2</sup>,  
КИРИЧЕНКО М.Н.<sup>2</sup>, ТКАЧЕНКО М.В.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Институт технической теплофизики НАН Украины*<sup>2</sup>*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”*

## ЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ ТИПА “ТЕПЛЫЙ ПОЛ”

Запропоновано нову конструкцію системи електроопалення типу “тепла підлога” на основі саморегулюючого кабеля, що дозволяє усунути конструктивні недоліки звичайної системи акумуляційного електроопалення.

Предложена новая конструкция системы электроотопления типа “теплый пол” на основе саморегулирующегося кабеля, позволяющая устранить конструктивные недостатки обычной системы аккумуляционного электроотопления.

We propose a new design of the system of electroheating of the type of “warm floor” on the basis of a self-regulated cable, allowing to eliminate the basic constructive lacks of the usual system of electroheating.

В современном строительстве достаточно широко распространены системы аккумуляционно-панельно-лучистого отопления. Преимущества такого вида отопления очевидны в случаях, если к помещениям предъявляются повышенные санитарно-гигиенические требования. Другими положительными свойствами скрытых отопительных панелей является увеличение полезного объема и площади обогреваемых помещений; исключение пригорания пыли и ее разноса; снижение материалоемкости, особенно металлоемкости; выравнивание температуры по объему и высоте помещения. При этом снижаются затраты труда, улучшаются энергосберегающие показатели за счет понижения температуры воздуха в помещении на несколько градусов без снижения в целом комфортности отопления.

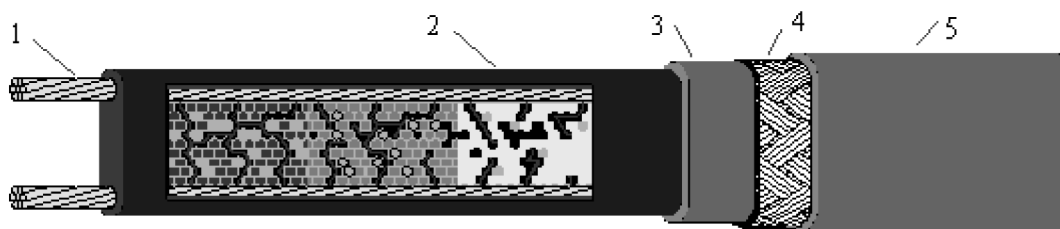
Электрокабельные системы отопления [1–3], при сохранении перечисленных всех выше достоинств панельно-лучистого отопления, отличаются повышенными показателями надежности, регулируемой, высокими практически неограниченными гарантийными сроками (15 лет и выше).

Дальнейшему развитию технологии электроотопления препятствуют слабая изученность процессов теплообмена применительно к греющим полам и, как следствие, отсутствие расчетной нормативной базы для использования электроотопления в помещениях промышленных и жилых зданий и сооружений. Вследствие много-

параметричности задач электроотопления, сложности получения решений в аналитическом виде, дороговизны и трудоемкости экспериментальных исследований количество исследований даже в стационарной постановке в настоящее время чрезвычайно мало.

Тема электрообогрева является на сегодняшний день одной из самых перспективных [4]. Это связано в основном с повышением и постоянным ростом цен на горючие вещества (газ, нефть), а также с большим потенциалом атомной энергетики.

По данной проблематике проведено множество работ, касающихся расчетов температурных режимов и определения оптимальных параметров конструкции, а также возможности использования “теплого пола” с разными покрытиями поверхности пола и проверки соответствия строительным нормам и правилам. Также проводились работы с использованием для расчетов современных компьютерных пакетов. Эксперименты проводились как компьютерные, так и натурные. Но все эти исследования проводились с обычной конструкцией “теплого пола”, которая сама по себе имеет существенные недостатки. И приоритетным направлением на сегодняшний день является поиск новых конструкций, которые бы не уступали по теплотехническим эксплуатационным характеристикам типовой конструкции “теплого пола”.



**Рис. 1. Конструкция саморегулирующегося нагревательного кабеля: 1 – токопроводящие жилы; 2 – нагревательная матрица; 3 – изолирующая оболочка; 4 – оплетка; 5 – внешняя оболочка.**

Обычная конструкция “теплого пола” имеет следующие недостатки:

- повышение расходов на оплату электроэнергии. Расход электроэнергии на один квадратный метр обогреваемой площади помещения составляет приблизительно 120...180 Вт в зависимости от конкретных условий. Эта мощность закладывается с запасом, фактически же потребляется 50...70%, т.е. 60...140 Вт/м<sup>2</sup>. Остальное экономит терморегулятор. Значения приблизительно и будут зависеть от помещения, теплоизоляции, качества монтажа и условий эксплуатации, как например, от установленной пользователем температуры теплого пола и пр.

- наличие электромагнитного излучения. Электрические теплые полы в начале их внедрения вызывали беспокойство, связанное с тем, что создаваемое ими электромагнитное поле может оказывать вредное влияние на здоровье людей. В настоящее время электромагнитное излучение современных нагревательных кабелей минимально и не оказывает вредного воздействия; оно в десятки, а иногда и в сотни раз ниже предельно допустимой нормы, установленной СНиП.

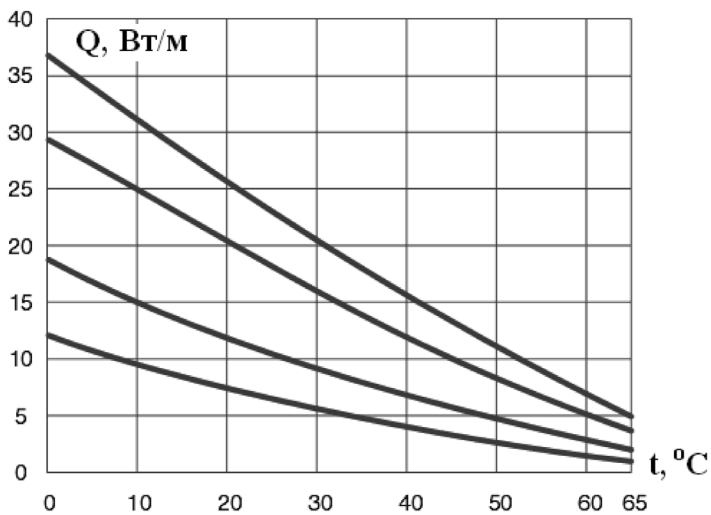
- затруднительна полная проверка работоспособности теплого пола до окончания его монтажа. Все нагревательные секции проходят многократные (до 10 видов) испытания в весьма жестких условиях, поэтому, как правило, возникшие неисправности связаны с неправильной установкой или механическим повреждением нагревательного кабеля или соединительных проводов в процессе эксплуатации. Но даже если кабель был поврежден, есть возможность обнаружения точного места обрыва и ремонта кабеля без демонтажа всего пола.

Другим ограничением является то, что “теплый пол” нежелательно укладывать под покры-

тия с низкой теплопроводностью (паркет, ламинат, ковролин, линолеум). Основная проблема, которая препятствует использованию электрокабельной системы отопления под деревянными покрытиями – это их низкая теплопроводность. Дерево пересыхает, если его перегреть, а это приводит к потере первоначальной геометрической формы. Второй особенностью является чувствительность дерева к перепадам температуры. Когда под деревянным покрытием лежит нагревательный кабель, температура поверхности над жилами кабеля и между жилами будет отличаться. Это также приводит к потере первоначальной формы деревянного покрытия. Без проблем и опасений “теплый пол” можно укладывать только под плитку и камень. Но так как в жилых домах и квартирах невозможно весь пол накрыть плиткой или камнем, следует, что “теплый пол” можно использовать только в некоторых зонах жилого помещения. Таким образом, очень сужается область применения таких систем.

В данной работе рассмотрены возможности устранения некоторых недостатков обычных систем электроотопления. Для этого предложена оптимизированная конструкция “теплого пола” и проведены расчеты для подтверждения целесообразности ее использования.

За основу новой конструкции взят саморегулирующийся кабель. Это кабель, основным отличием которого от обычного нагревательного кабеля есть принцип нагрева. В саморегулирующемся кабеле нагрев происходит не за счет прохождения электрического тока через металлическую жилу, а за счет прохождения тока через углепластиковую матрицу. Конструкция саморегулирующегося кабеля показана на рис. 1. Кабель состоит из двух проводников, между которыми находится нагревательная матрица, служащая

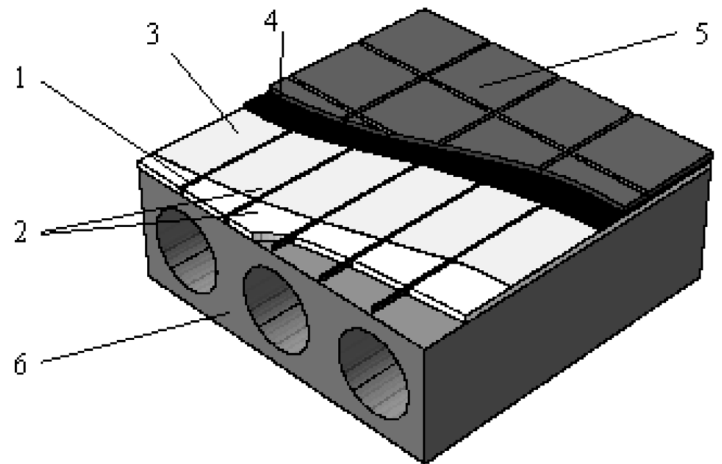


**Рис. 2.** Зависимость изменения удельной тепловой мощности  $Q$  кабеля от окружающей температуры  $t$ .

одновременно и проводником тока, и нагревательным элементом. Матрица покрыта изолирующей оболочкой, служащей и механической, и электрической защитой. Далее следует заземляющая оплетка и внешняя оболочка из фторопласта, который служит отличной механической, электрической, химической защитой и придает кабелю необходимую гибкость.

Основным элементом такого кабеля является углепластиковая матрица, которая изменяет свое сопротивление и, соответственно, выходную мощность в зависимости от окружающей температуры. Например, при повышении окружающей температуры, сопротивление матрицы возрастает, выходная тепловая мощность понижается. При понижении окружающей температуры происходит обратный процесс, сопротивление понижается, мощность повышается. График изменения мощности от температуры показан на рис. 2.

В зависимости от назначения кабель может иметь различные выходные мощности, толщины оболочек и состоять из различных материалов. Для систем антиобледенения кровли и водостоков применяются кабели с оболочкой, стойкой к ультрафиолету, и имеющие мощность 18...54 Вт/м. Для систем снеготаяния применяются кабели с оболочкой, имеющей повышенную механическую прочность, и мощностью до 90 Вт/м. При использовании саморегулирующихся кабелей в



**Рис. 3.** Схема конструкции теплого пола на основе саморегулирующегося кабеля без аккумуляции теплоты: 1 — нагревательный кабель; 2 — пластины теплоизолятора; 3 — алюминиевые пластины; 4 — плиточный клей; 5 — лицевое покрытие; 6 — перекрытие (железобетонная плита с воздушными пустотами цилиндрической формы).

теплых полах, к ним не предъявляются особые требования. Можно использовать кабели мощностью 15 Вт/м (при 10 °C) с оболочкой из фторопласта. Такой мощности будет достаточно для обеспечения отопления помещения, а оболочка позволяет кабелю выдерживать механические нагрузки, придает ему стойкость к щелочной среде бетона, а также обеспечивает электрическую безопасность и возможность применения в жилых помещениях независимо от уровня влажности.

Саморегулирующиеся кабели можно применять в такой же конструкции, как и резистивные. Т.е. на теплоизолятор укладывается монтажная сетка и к ней крепятся греющие кабели с заданным промежутком в зависимости от необходимой мощности обогрева, сверху заливается стяжка и укладывается лицевое покрытие пола. Но такая конструкция не будет оптимальной с точки зрения экономии затрат как капитальных, так и эксплуатационных. На рис. 3 представлена новая конструкция теплого пола на основе саморегулирующегося кабеля, которая позволяет устранить недостатки обычного “теплого пола” и является оптимальной с экономической точки зрения.

Основным элементом конструкции является саморегулирующийся греющий кабель. Он уло-

жен в пазы, сделанные в алюминии, таким образом, чтобы 70 % поверхности кабеля соприкасалось с алюминием. Профилированные алюминиевые пластины приклеены к теплоизолятору, который приклеивается к черновому полу. Далее на алюминиевые пластины с уложенным в них кабелем наносится грунтовка для создания адгезии с плиточным клеем. После этого обычным образом укладывается плитка. В случае использования такой конструкции теплого пола под ламинат, пластины, как и ламинат, к полу не крепятся и наносить грунующее покрытие нет необходимости. Основным отличием в принципе работы “такого теплого пола” является способ нагрева. Если в обычной конструкции нагрев стяжки и покрытия идет за счет отдачи теплоты самим кабелем, то в предлагаемой конструкции в первую очередь нагреваются алюминиевые пластины. Стяжка и покрытие пола греются не от кабеля, а за счет теплоотдачи с пластин.

Такая конструкция с применением саморегулирующегося кабеля дает значительную экономию при эксплуатации “теплого пола” по сравнению с обычной конструкцией с резистивным нагревательным кабелем. За счет применения алюминиевых пластин практически нет разницы температур между зонами над жилами кабеля и зонами между жилами кабеля, так как алюминий равномерно распределяет температуру по всей площади нагрева. За счет принципа саморегулирования при использовании в качестве покрытия дерева покрытие не будет пересыхать, так как кабели самостоятельно подстраивают свою выходную мощность в зависимости от проводимости каждого типа деревянного покрытия. Это также относится и к другим покрытиям пола (ковролин, линолеум и т.д.), покрытия не будут перегреваться и портиться. Таким образом, в данной конструкции устранены основные недостатки “теплого пола” на основе резистивного кабеля.

Область применения теплых полов предлагаемой конструкции не ограничивается только покрытиями с плохой тепловой проводимостью. Их также можно использовать под любые покрытия с хорошей проводимостью (керамическая плитка, гранит, мрамор, искусственный камень и др.)

Одним из недостатков обычных “теплых полов” является резкое снижение их надежности

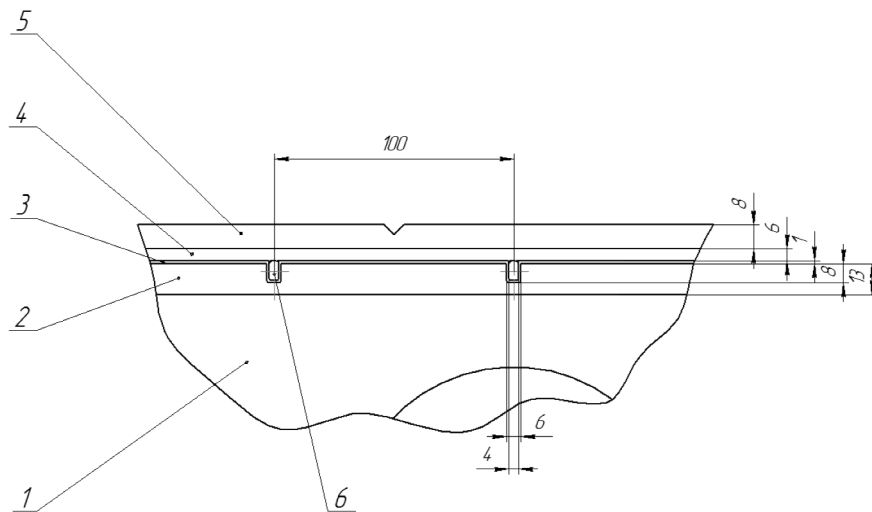
при снижении теплоотдачи с поверхности пола. Кабель может перегреться и перегореть. При использовании саморегулирующегося кабеля такой перегрев невозможен, так как в месте снижения теплоотдачи кабель снизит свою мощность. Поэтому повышается надежность системы и снижается вероятность перегрева и выхода ее из строя.

Следует отметить преимущества, которые дает такая система с точки зрения экономии. Во-первых, кабель будет давать необходимое количество теплоты именно в том месте, где это востребовано. В помещении могут быть зоны с разными внешними условиями. Например, на одну часть помещения на пол падает солнечное излучение, а другая находится в тени или подвержена сквозняку. Термостат устанавливается только в одном месте и может контролировать работу всего пола по показаниям датчика только в данном месте. Поэтому, если термостат расположен в тени, а в другой части помещения на пол светит солнце, то термостат не отключит электроотопление пола, и он будет нагреваться независимо от того, что в другой части помещения нагрев менее необходим. Это приводит к перерасходу электроэнергии. При использовании саморегулирующегося кабеля тепловая мощность будет оптимально распределяться по всему помещению. Кабель будет давать больше теплоты в той зоне, где идет интенсивное охлаждение, и давать меньше теплоты там, где теплоотдача с поверхности уменьшилась из-за наличия других внутренних тепловых источников. Таким образом возникает экономия электроэнергии благодаря ее оптимальному использованию.

Во-вторых, из-за того, что в конструкции заложена теплоизоляция, время на разогрев пола занимает не больше 30 минут, тогда как в обычной конструкции это время доходит до нескольких часов. В этом также заключается экономия электроэнергии, т.к. в течение того времени, пока пол разогревается, теплота не выделяется, а электроэнергия расходуется.

В-третьих, предлагаемая конструкция по своим свойствам сопоставима с обычной конструкцией “теплого пола” тем, что в ней также имеется теплоизолятор, элемент для распределения теплоты (в обычной конструкции — это бетонная стяжка, в новой конструкции — это алюминий),





**Рис. 4. Конструкция модели теплого пола: 1 – железобетон; 2 – пенопласт; 3 – алюминий; 4 – клей; 5 – керамика; 6 – греющий кабель.**

но не сопоставима с ней по габаритам. Обычная конструкция занимает по высоте от 50 мм до 100 мм, тогда как предлагаемая конструкция занимает всего 13 мм. Это особенно актуально в зданиях, где нет возможности поднять уровень пола на нужную высоту. В-четвертых, благодаря расположению греющих кабелей близко к поверхности пола, снижается количество теплоты, которое уходит вниз на нагрев железобетонного перекрытия. Таким образом, повышается КПД системы.

И последнее, такая конструкция дает свободу при расстановке мебели или другого оборудования. Обычный теплый пол укладывается только на площадь, не занятую мебелью. Если кабель заложить под мебель, то он может перегреться и перегореть в этом месте. При необходимости ее передвинуть нужно учитывать схему укладки кабелей и ставить мебель только в те места, где нет кабеля. В конструкции на основе саморегулирующегося кабеля опасность перегрева исключается, и имеется полная свобода при перепланировке расстановки мебели в помещении.

Для проверки работоспособности такой системы и подтверждения того, что рабочие температурные режимы соответствуют санитарным и строительным нормам, было проведено компьютерное моделирование системы и ее расчет методом конечных элементов.

Модель создавалась средствами компьютерной программы COSMOSWorks-2008. Для создания модели использовались стандартные инстру-

менты и методы компьютерного трехмерного моделирования. Конструкция показана на рис. 4 и 5. Для выполнения тепловых расчетов задавались теплофизические параметры всех материалов “теплого пола”. Моделировался “теплый пол”, который представлял собой параллелепипед длиной  $L = 1$  м, шириной  $W = 1$  м и высотой  $H = 0,215$  м. Толщина плиты перекрытия составляла 200 мм, на плиту укладывалась теплоизоляция толщиной 13 мм с приклеенным к ней листом алюминия. В пазы алюминия вкладывался нагревательный кабель. Сверху, в первом случае, укладывалась керамическая плитка на плиточный клей, во втором случае, добавлялся еще слой стяжки толщиной 80 мм. Свойства материалов приведены в таблице. После этого все детали собирались в один файл в виде сборки. Соединения между деталями приняты идеальными, т.е. термические сопротивления стыков не учитывались. На всю сборку накладывались потоки теплоты, причем по бокам  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 0$  – теплообмен отсутствовал. На верхней поверхности пола задавался эффективный коэффициент теплоотдачи, который учитывал конвективный и лучистый теплообмен  $\alpha_1 = 8,7$  Вт/м<sup>2</sup>·К. На нижней поверхности перекрытия задавался коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1 = 8,7$  Вт/м<sup>2</sup>·К. Температура окружающего воздуха  $t_n = 20$  °С. Также задавалась общая тепловая мощность с боковых поверхностей модели греющего кабеля, равная  $Q_7 = Q_8 = Q_9 = Q_{10} = 4$  Вт (рис. 6).

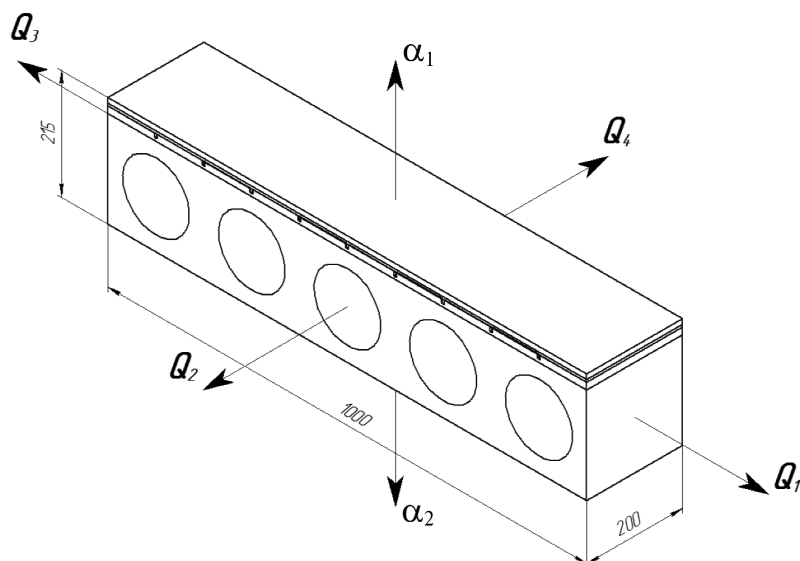


Рис. 5. Схема модели участка „теплого пола” на панели перекрытия.

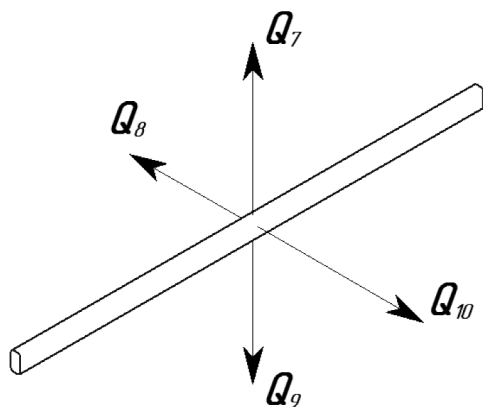


Рис. 6. Схема тепловых потоков от греющего кабеля.

Задания этих параметров достаточно для получения трехмерных температурных полей модели “теплого пола”.

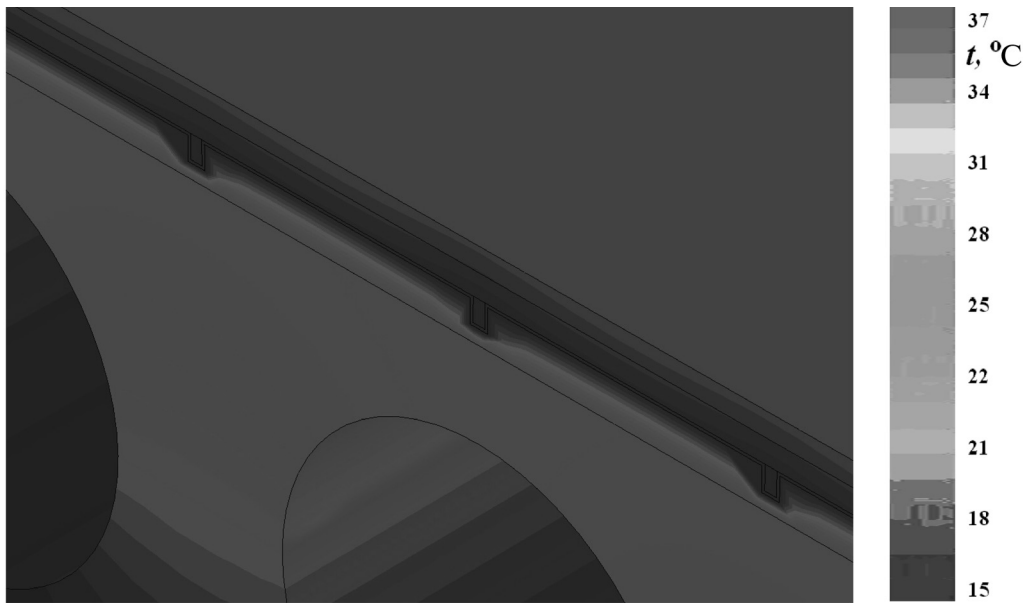
В результате расчета были получены трехмерные температурные поля всех элементов, входя-

щих в состав конструкции “теплого пола” (рис. 7). По полученным данным можно определить распределения температур в разных плоскостях.

На рис. 8 представлены расчетные данные распределения температур во всех слоях пола. Из графика видно, что ни в одном из слоев температура не превышает допустимого предела 60 °С для обычных конструкционных материалов. Это позволяет использовать в данной конструкции нетемпературостойкие материалы, что значительно удешевляет всю конструкцию пола. Температура на поверхности не превышает максимально допустимых значений по ДБН В.2.5-24-2003, т.е не превышает 29 °С. Перепад температуры на поверхности пола на участках над жилами кабеля и между жилами не превышает 0,5 °С, что является допустимым для любого деревянного покрытия, тогда как аналогичный перепад температур в обычной конструкции может доходить до 4 °С. Это является подтвержде-

Таблица. Свойства материалов в модели “теплого пола”

№	Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м·К	Удельная теплоемкость, Дж/кг·К
1	Железобетон, плита	2000	1,28	840
2	Пенопласт	25	0,035	540
3	Алюминий	2700	230	1000
4	Клей для плитки	2100	1,28	840
5	Керамическая плитка	2200	1,495	840
6	Стяжка, бетон	2000	1,28	840



*Рис. 7. Температурные поля (фрагмент) возле греющего кабеля в новой конструкции системы “теплый пол” в виде черно-серых оттенков.*

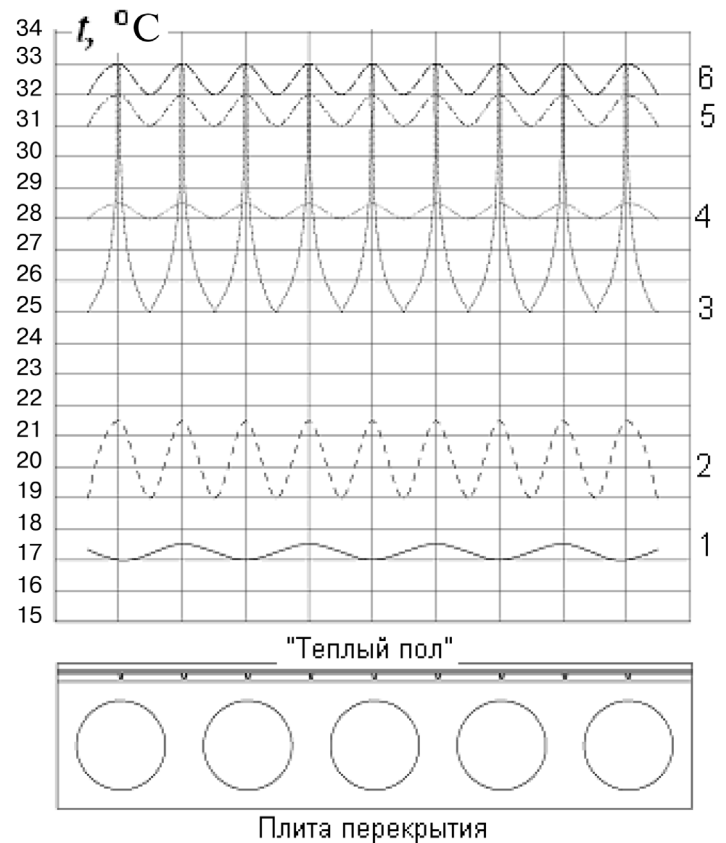
нием того, что такая конструкция дает более равномерное распределение температур по поверхности пола.

Кроме этого, реализуется значительный перепад температур между уровнем верха перекрытия и теплоизоляции, что говорит о правильном выборе теплоизоляционного материала.

### **Выводы**

1. Из проведенных расчетов следует, что данная система соответствует всем требованиям и нормам, а также является хорошей альтернативой обычной конструкции аккумуляционного “теплого пола” на основе нагревательного кабеля. Кроме этого, она расширяет сферу применения систем электрообогрева за счет более энергоэффективного нагрева и может быть использована при любых покрытиях поверхности пола.

2. Для широкого внедрения электрообогрева помещений необходимо решить задачи определения оптимальных конструктивных параметров каждого отдельного элемента и параметров системы в целом. Необходимо определить наиболее приемлемые материалы как по цене, так и по тепловым свойствам. Поскольку электрокабельные системы отопления используют электроэнергию в больших объемах, то обеспечение эф-



*Рис. 8. Графики распределения температур в слоях теплого пола: 1 – низ перекрытия; 2 – верх перекрытия; 3 – слой теплоизоляции; 4 – алюминий; 5 – слой клея; 6 – поверхность пола.*

фективности электроснабжения таких систем является задачей, требующей специального подхода и решения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Розинский Д.И., Тимченко Н.П., Круковский П.Г. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом. – К.: НПП “Элетер”, 2001. – С. 31–46.
2. Круковский П.Г., Розинский Д.И., Тимченко Н.П., Судак О.Ю. Численное моделирование теплового состояния греющих полов с элект-

рокабельным отоплением (стационарная поставка). – К.: НПП “Элетер”, 2001. – С. 92–99.

3. *Справочник по комфортным теплым полам.* Технический справочник. – М.: Тусо Thermal Controls, 2008. – 32 с.

4. Шульга Ю.И., Розинский Д.И., Громадский Ю.С., Долинский А.А., Круковский П.Г., Тимченко Н.П., Шевелев В.Б., Черных Л.Ф., Полевой П.П. Электроотопление как составляющая европейского пути развития систем отопления в Украине. – К.: НПП “Элетер”, 2001. – С. 16–30.

Получено 18.08.2008 г.

УДК 621.577 + 697.1

**ЖОВМИР Н.М.**

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ КАК ПРЕДПОСЫЛКА ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ И ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Для існуючого будинку розглянуто потоки теплових втрат та потоки теплої від нагрівальних приладів до та після його теплової ізоляції. Показано, що при виконанні теплової ізоляції існуючих будівель доцільно зменшувати температуру теплоносія в їх системах опалення. Перехід до низькотемпературних режимів систем опалення забезпечує більш сприятливі умови для застосування конденсаційних котлів та теплових насосів. Показано, що зменшення теплових втрат будинку на 36% з переведенням існуючої системи опалення на нижчі температури теплоносія забезпечує зменшення споживання електричної енергії привідним двигуном теплового насоса у два рази.

Для существующего здания рассмотрены потоки тепловых потерь и потоки теплоты от нагревательных приборов до и после его тепловой изоляции. Показано, что при теплоизоляции существующих зданий целесообразно уменьшать температуру теплоносителя в их системах отопления. Переход к низкотемпературным режимам систем отопления обеспечивает более благоприятные условия для применения конденсационных котлов и тепловых насосов. Показано, что снижение тепловых потерь здания на 36 % с переводом существующей системы отопления на пониженные температуры теплоносителя обеспечивает снижение потребления электрической энергии приводным двигателем теплового насоса в два раза.

For an existing building, we study its heat losses and heat flows from heating devices for the states before and after its heat insulation. It is shown that, at heat insulation of existing buildings, it is reasonable to decrease the heat carrier temperature in their heating systems. Transition to low temperature modes of heating systems provides more favorable conditions for the application of condensing boilers and heat pumps. It is shown, that a decrease in the building thermal loss by 36% with adjusting the existing heating system for lower temperatures of the heat carrier cuts in half the electricity consumption to drive the heat pump.

$C_p$  – теплоемкость теплоносителя в системе отопления;

$F_h$  – площадь поверхности нагрева отопительных приборов;

$k_h$  – коэффициент теплопередачи отопительных приборов;

$m_w$  – расход теплоносителя через отопительные приборы;