

УДК 536.24:697.1

Тадля О.Ю., Круковский П.Г.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ТИПОВОЙ ДВУХКОМНАТНОЙ КВАРТИРЫ В ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

У роботі викладені методика, схема (план) проведення експерименту і результати експериментальних досліджень нестационарного теплового режиму типової двокімнатної квартири верхнього поверху 9-ти поверхового цегляного будинку (1982 року будівництва) при проживанні в ній сім'ї з 5 осіб. В ході експериментів вимірювалися температури навколишнього середовища, повітря, опалювальних приладів (чавунних радіаторів), поверхонь огорожуючих конструкцій, а також теплові потоки на внутрішніх поверхнях огорожуючих конструкцій приміщень (всього 53 точки). Виміри проводилися протягом 10 діб (лютий 2005 р.) вранці, вдень та ввечері через 3-4 години. Результати дослідження можуть бути використані для верифікації моделей і методик розрахунку теплового режиму і тепловтрат приміщень, ідентифікації параметрів таких моделей і розробки оптимальних рекомендацій по зниженню тепловтрат.

В работе изложены методика, схема (план) проведения эксперимента и результаты экспериментальных исследований нестационарного теплового режима типовой двухкомнатной квартиры верхнего этажа 9-ти этажного кирпичного дома 1982 года постройки при проживании в ней семьи из 5 чел. В ходе экспериментов измерялись температуры окружающей среды, воздуха, отопительных приборов (чугунных радиаторов), поверхностей ограждающих конструкций, а также тепловые потоки на внутренних поверхностях ограждающих конструкций помещений (всего 53 точки). Измерения проводились в течение 10 суток (февраль 2005 г.) в утреннее, дневное и вечернее время через 3-4 часа. Результаты исследования могут быть использованы для верификации моделей и методик расчета теплового режима и теплотерь помещений, идентификации параметров таких моделей и выработки оптимальных рекомендаций по снижению теплотерь.

The method, the scheme for experiment performance and results of experimental investigation of unsteady heat state for two-room apartment are described in the work. The apartment is located on the last floor of nine-storyed building which was built in 1982 and a family from 5 people lived there. Temperatures of indoor and outdoor air, heaters (cast-iron radiators), surfaces of enclosures, and also heat flows on the internal surfaces of apartment enclosures (all together 53 points) were measured during experiment making. Measurements were made during 10 days (February, 2005) in morning, solar day and evening time with 3-4 hours interval. Investigation results can be used for verification of models and methods of calculation for thermal state and heat loss of premises, for model parameters identification and for making optimal recommendation on the heat loss reduction.

Для анализа тепловых режимов помещений используют расчетные и экспериментальные методы исследований. Имеется достаточное число расчетных моделей анализа тепловых режимов помещений различного уровня сложности, но их необходимо с одной стороны верифицировать, а с другой идентифицировать, поскольку практически всегда модели обладают некоторыми недостоверно известными параметрами. Для верификации и идентификации таких моделей необходимы экспериментальные данные о тепловых режимах помещений. Данных по экспериментальным исследованиям тепловых режимов помещений в литературе малочисленны, что объясняется значительными трудоемкостью и стоимостью вслед-

ствие больших продолжительности эксперимента и объема экспериментальных данных. Необходимо также учитывать, что помещения находятся в нестационарных тепловых условиях из-за изменяющихся температур окружающей среды и тепловыделений внутри помещений, что приводит к необходимости проведения большого количества измерений нестационарных температур в достаточно большом количестве точек.

Проведенный обзор литературы показал, что эксперименты проводились для условий только одного помещения, в котором старались поддерживать определенные температурные (часто идеальные) условия. В частности, Научно-исследовательский институт строительной физики

(НИИСФ г. Москва) в 1980 году проводил экспериментальные исследования теплового режима помещения, расположенного в средней части промежуточного этажа жилого здания в г. Навои [1]. Эксперимент проводился в течение одних летних суток. Замерялись температуры воздуха и поверхностей строительных конструкций внутри помещения, в котором создавались искусственные условия, — с целью уменьшению влияния солнечной радиации заклеивались окна непрозрачной бумагой, создавалось принудительное избыточное давление для уменьшения инфильтрации наружного воздуха из окружающей среды в помещение, не присутствовали люди, исключались другие источники тепла. Измерения дистанционно проводились из соседнего помещения.

Еще одним, найденным в литературе масштабно проведенным экспериментом, является исследование выполненной в натуральную величину модели жилого помещения в климатическом комплексе КиевЗНИИЭПа [2]. Была реализована следующая методика: на модели исследуемого помещения воспроизводились заданные внешние и внутренние воздействия (температура и скорость наружного воздуха, инфильтрация и приток вентиляционного воздуха с заданными температурой и режимом отопления). Каждый опыт начинался со стационарного режима с постоянной работой системы отопления, затем по прошествии 4–5 суток начинался прерывистый режим работы системы отопления. В прерывистом режиме работы нагрузка на систему электроотопления ночью (в течение 8-ми часов) увеличивалась в 3 раза, а на день отопление выключалось. Определение стационарной мощности производилось путем расчета теплопотерь помещения.

Измерение исследуемых тепловых параметров модели проводилось круглосуточно с помощью компьютерной измерительной системы климатического комплекса с периодичностью 15 мин. Измерительными приборами служили 159 датчиков температуры (хромель-копелевые термопары) и 57 датчиков тепловых потоков. Во время проведения эксперимента измерялись следующие текущие характеристики нестационарного теплового режима помещения [2]:

- ◆ температура воздуха в помещении, верхней и тыльной поверхности пола, на глубине теп-

лоаккумулирующего слоя, на поверхности греющих кабелей, наружного воздуха;

- ◆ температура внутренней и внешней поверхности наружных ограждений, внутренних стен и потолка, тепловой поток от поверхности пола в помещение, к внутренним стенам и потолку, тепловые потери через нижнее перекрытие, через наружные стены и окна;

- ◆ температура и расход приточного воздуха.

Для экспериментального исследования тепловых режимов ограждающих конструкций иногда используют систему вычислительной ИК-термографии на базе тепловизора и персонального компьютера. Ее применение позволяет оценивать функциональное состояние диагностируемых объектов по характерному изменению температурных полей в областях локализации неоднородности и строительных дефектов. Полученная в ходе термографических измерений информация авторами [3–4] была использована для расчета термического сопротивления ограждающих конструкций и сравнения результатов с расчетными характеристиками помещений.

Основной нормативный документ по экспериментальному измерению температур, Государственный стандарт [5], регламентирует длительность эксперимента в натуральных условиях не менее 15 суток, при этом температуры наружного воздуха должны колебаться в пределах  $-15\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что, по мнению авторов стандарта, должно обеспечивать получение результата (коэффициента термического сопротивления теплопередаче) с погрешностью не более 15 %.

В натуральных условиях (например широты г. Киева) тяжело обеспечить такой длительный интервал продолжительности низких температур, поэтому актуальной задачей является уменьшение срока длительности эксперимента в натуральных условиях без снижения точности определения коэффициентов термического сопротивления или других характеристик помещения (воздухообмен, теплофизические характеристики ограждений и др.).

Важным, и до сих пор в достаточной мере не исследованным вопросом, является вопрос о необходимом объеме (число точек измерений и их размещение в объеме помещения, частота опроса) измеряемых параметров (температур, тепло-



**Рис. 1. План исследуемой двухкомнатной квартиры. Номерами обозначены точки, в которых проводились измерения температур и тепловых потоков.**

вых потоков, влажностей и т.д.). Совокупность точек измерения по пространству и времени называется планом измерения.

Как видно из приведенного выше обзора, проведение экспериментальных работ отличается длительностью, трудоемкостью и достаточно большой ограниченностью проведения эксперимента в течение года (только в отопительный период). Стоимость экспериментальных работ складывается из стоимости и эксплуатации самого прибора и датчиков температур и тепловых потоков, а также вспомогательного оборудования (такого как, климатические камеры, записывающая аппаратура), стоимости работы обслуживающего персонала и др.

Целью статьи является изложение результатов исследования нестационарного теплового режима типовой двухкомнатной квартиры при естественных условиях проживания в ней семьи из 5 чел. с помощью измерения температур воздуха помещений, ограждающих конструкций и отопительных приборов, а также тепловых потоков в ограждающие конструкции в течение 10 суток (с 3.02. по 13.02.2005 г.) в утреннее, дневное и вечернее время через 3-4 часа.

Объектом исследования является типовая двухкомнатная квартира, расположенная на 9-ом этаже 9-ти этажного кирпичного здания в г. Киеве (рис. 1).

Размеры комнат следующие: комнаты 1 –  $3 \times 5$  м, комнаты 2 –  $4,1 \times 4$  м, кухни –  $2,7 \times 2,3$  м. Высота этажа – 2,5 м. Лоджия застеклена. Отопительные приборы централизованной системы отопления – чугунные радиаторы типа М-140-АО с количеством секций в комнате 1 – 6 шт., комнате 2 – 9 шт., кухне – 5 шт. Площадь поверхности каждой секции равна  $0,299 \text{ м}^2$ . Во время проведения эксперимента в квартире проживали люди. Время от времени открывались двери, форточки, зажигалась на кухне плита, включались осветительные и другие электроприборы. Характеристики ограждающих конструкций приведены в таблице.

Поскольку измерения проводились в квартире, в которой проживали люди, не были проведены ночные измерения температур, а дневные измерения проводились с примерно равным шагом по времени (3-4 часа). В данном случае был принят план измерения, включающий в себя измерение температур воздуха в помещениях (6 точек), ограждающих конструкциях (24 точки), радиаторов (3 точки), окружающей среды и тепловых потоков на поверхностях ограждающих конструкций помещений квартиры (19 точек), всего 53 измерительные точки. Согласно [5] продолжительность эксперимента планировалась 15 суток, но из-за поломки датчика теплового потока эксперимент пришлось прервать на 10-е сутки.

Таблица. Характеристики ограждающих конструкций двухкомнатной квартиры.

№	Конструкция стены	Материал	$\delta$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м °С	$c$ , Дж/кг °С
1	Наружная стена	Силикатный кирпич	0,52	1700	0,829	800
Внутренние стены:						
2	Восточная	Гипс	0,25	600	0,24	795
3	Южная	Гипс	0,25	600	0,24	795
4	Северная	Гипс	0,25	600	0,24	795
5	Потолок	Железобетонное перекрытие	0,22	1000	0,507	800
6	Пол	Железобетонное перекрытие	0,22	1229	1,28	800
7	Окно	Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	0,13	101,5	0,606	1012,6

В период исследований измеряли:

1. температуру наружного воздуха на расстоянии 0,25 м от здания на уровне высоты этажа;
2. температуру воздуха в помещении в геометрическом центре объема помещения;
3. температуру внутренних по отношению к помещению поверхностей ограждений;
4. температуру отопительных приборов на нагретой поверхности в центре отопительного прибора;
5. тепловые потоки на все внутренние поверхности ограждений в точках измерения температур.

На рис. 1 обозначены точки измерения температур и тепловых потоков. Примерное время измерения – 8.00, 14.00, 16.00 и 20.00 часов. Время установления температуры датчика составляло 3 мин. На рис. 2 изображен прибор для измерения теплового потока и температуры, разработанный в отделе теплотрии Института технической теплофизики НАН Украины и любезно предоставленный зав. отделом к.т.н. Л.В. Декушей. Прибор был оснащен двумя датчиками температуры и датчиком теплового потока. Один из датчиков температуры (им измеряли только температуры ограждающих конструкций) и датчик теплового потока были совмещены. Диаметр этого датчика составлял 2,5 см. Для измерения температуры воздуха и отопительных приборов использовался другой датчик температуры, который располагается на выносном проводе.

Погрешность измерения составляла половину цены деления измеряющего прибора: для датчиков температуры – 0,05 °С и датчика теплового потока – 0,05 Вт/м<sup>2</sup>. Температуру окружающей среды измеряли термометром с погрешностью 0,5 °С. Из-за того, что этот термометр находился на солнечной стороне квартиры и подвергался воздействию солнечной радиации, а также тепловому облучению с поверхностей ограждающих конструкций, его показания могли быть завышены.

На рис. 3-7 представлены основные результаты измерений температур и тепловых потоков в отдельных точках помещениях квартиры. Время 0 часов на графиках соответствует 7 утра. Из-за

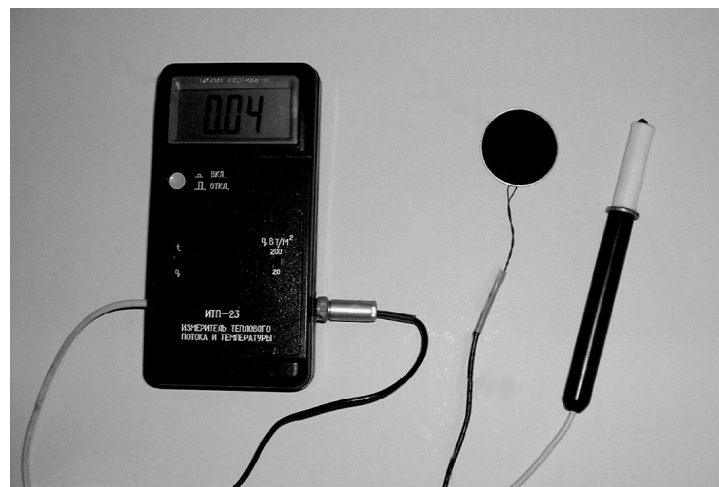
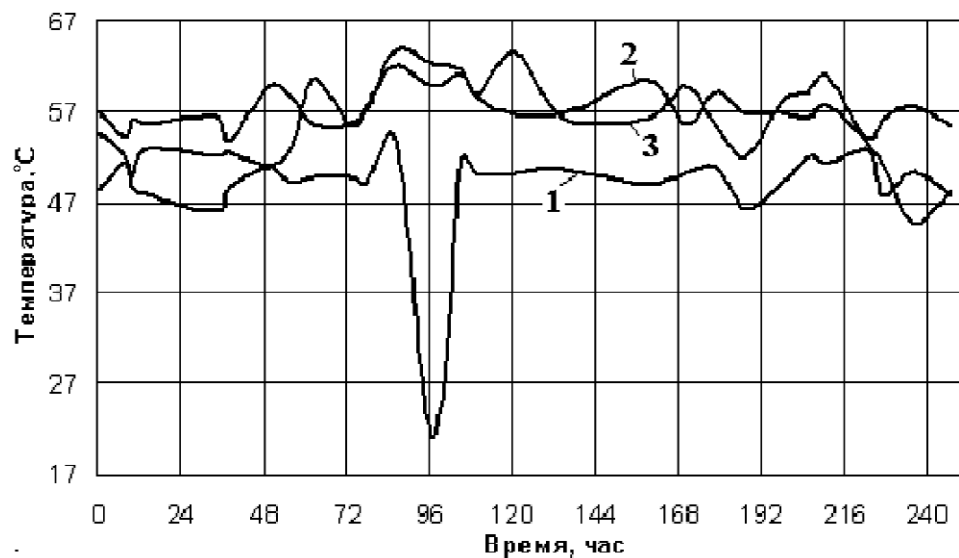
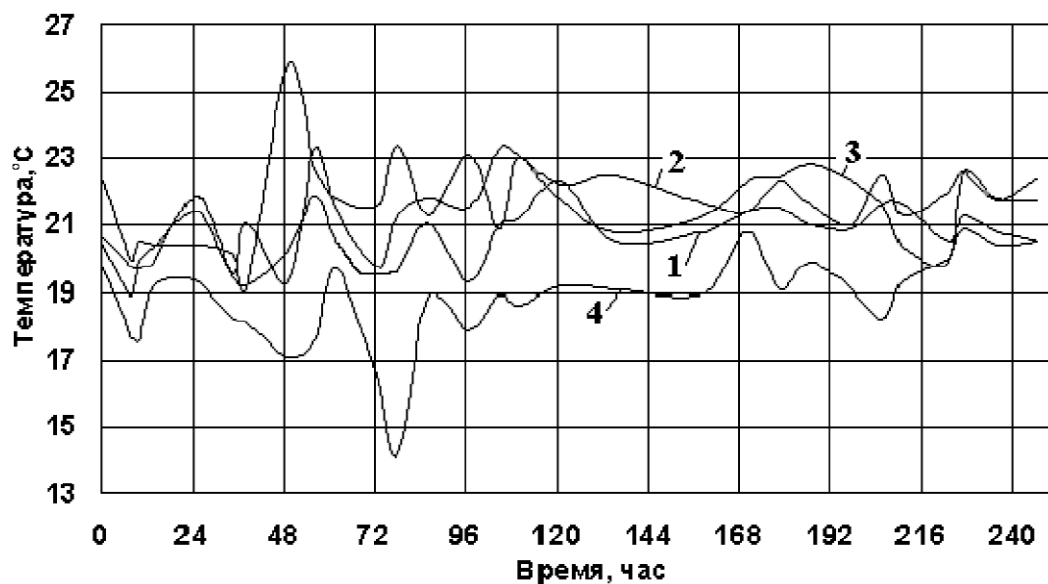


Рис. 2. Внешний вид прибора ИТП-23-2 для измерения температуры и теплового потока.



*Рис. 3. Изменение температур радиаторов во времени. Кривая 1 – радиатор в комнате 1, кривая 2 – радиатор в комнате 2, кривая 3 – радиатор в кухне.*



*Рис. 4. Изменение температур воздуха в помещениях квартиры во времени. Кривая 1 – воздуха в комнате 1, кривая 2 – воздуха в комнате 2, кривая 3 – воздух в кухне, кривая 4 – воздуха в коридоре.*

ограниченности объема статьи все результаты измерений не приведены. Более полная информацию о результатах исследования квартиры может быть получена у авторов работы.

Как видно из графиков, температуры радиаторов изменяются в пределах 5-7 °C за сутки при средней температуре радиаторов 52 °C.

Из-за аварии системы отопления в соседней квартире 7.02.05 (момент времени 96 часов) в комнате 1 было отключено отопление на 12 ча-

сов (рис. 4), что не привело к заметному снижению температуры воздуха в комнате. Как видно из графиков, температуры воздуха в помещениях изменяются в пределах 2-3 °C в течение суток при средней температуре в комнате 20 °C, комнате 2 21,5 °C, в кухне 22 °C, в коридоре 18,5 °C.

Как видно из рис. 5, характер кривых температур воздуха в лоджии и окружающей среды повторяют друг друга. Несколько дней из периода эксперимента интенсивность солнечной радиа-

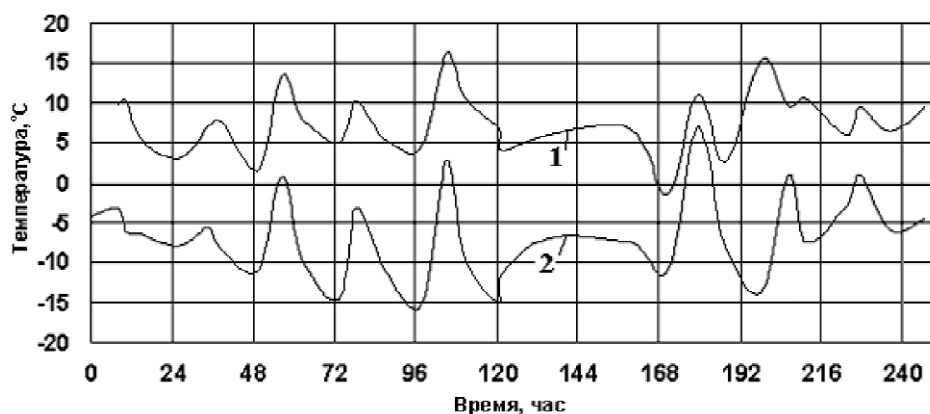


Рис. 5. Изменение температур воздуха в лоджии (кривая 1) и окружающей среде (кривая 2) во времени.

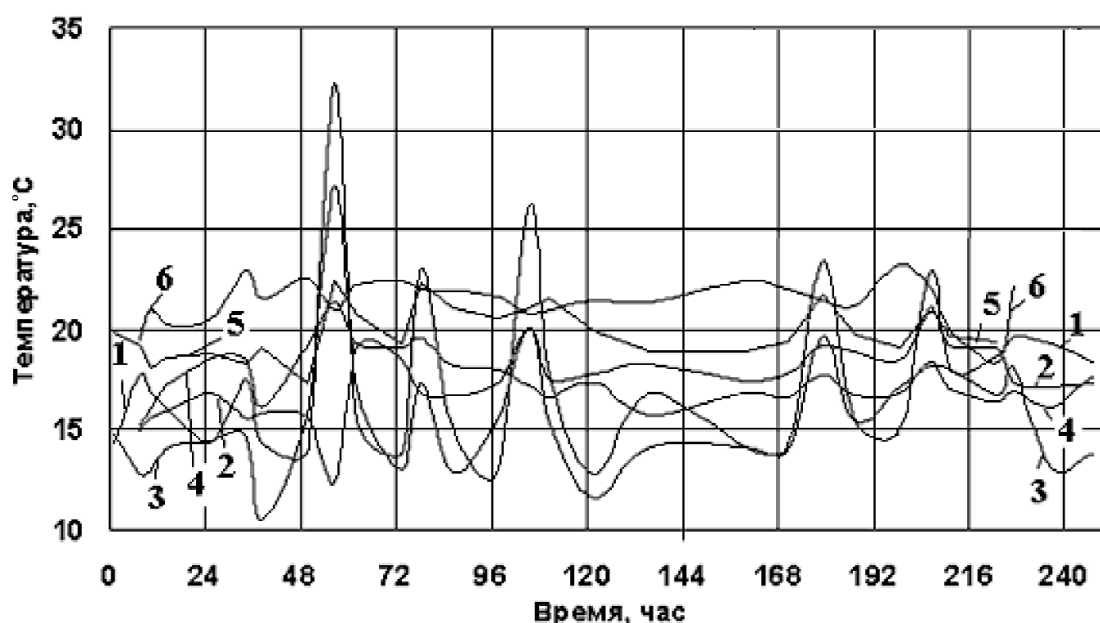


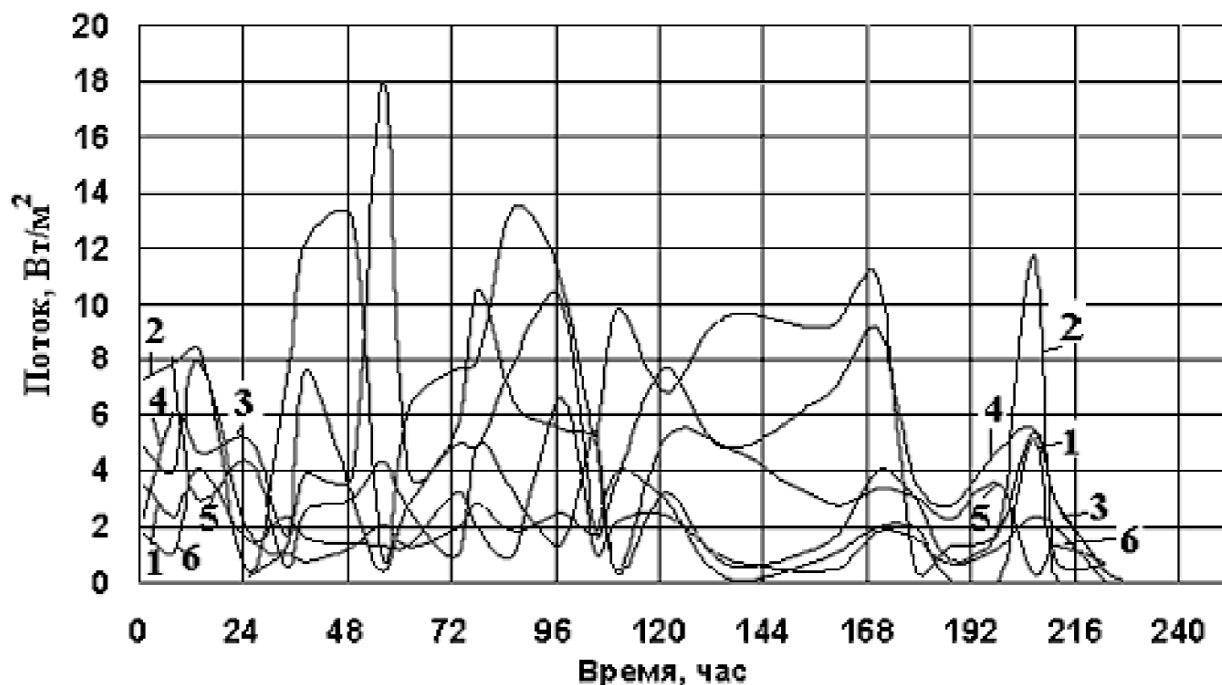
Рис. 6. Изменение температур ограждающих конструкций в помещениях квартиры во времени. Кривая 1 — температура окна в комнате 2, кривая 2 — температура внутренней поверхности наружной стены в комнате 2, кривая 3 — температура окна в кухне, кривая 4 — температура внутренней поверхности наружной стены в кухне, кривая 5 — температура поверхности потолка в комнате 2, кривая 6 — температура поверхности потолка в кухне.

ции была очень велика, что приводило к увеличению температуры поверхности окон и температуры воздуха в лоджии выше 30 °C (см. рис. 5 и 6). Также внутренняя поверхность окон испытывает тепловое воздействие расположенных под подоконником в полунишах отопительных приборов — радиаторов, что увеличивает их температуру. Этим вызваны пики температур окружающей среды, лоджии и окон комнаты 2 и кухни.

Проведенные измерения были достаточно трудоемки, на каждое измерение затрачивалось 3...5 мин.

На измерение 53-х точек уходило в среднем 1,5 часа при проведении экспериментальных исследований одним человеком. Используемый прибор (см. рис. 2) достаточно удобный и простой, но для измерения температуры в большом количестве точек необходима автоматизация процесса измерения и записи результатов с использованием более совершенного прибора и компьютерной техники.

Таким образом, краткий перечень основных результатов исследования можно охарактеризовать следующим образом:



*Рис. 7. Изменение тепловых потоков на поверхностях ограждающих конструкций в помещениях квартиры во времени. Кривая 1 — температура поверхности потолка в комнате 2, кривая 2 — температура окна в комнате 2, кривая 3 — температура внутренней поверхности наружной стены в комнате 2, кривая 4 — температура окна в кухне, кривая 5 — температура внутренней поверхности наружной стены в кухне, кривая 6 — температура поверхности потолка в кухне.*

1. Проведены экспериментальные измерения продолжительностью 10 суток в помещениях квартиры, в которой измерялись температуры воздуха, внутренних поверхностей ограждающих конструкций и отопительных приборов, а также тепловые потоки на ограждающих конструкциях.

2. температуры окружающей среды изменялись в диапазоне от  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , воздуха в лоджии в диапазоне от  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , качественный характер изменения которых соответствовал друг другу.

3. температуры воздуха в комнатах находились в диапазоне от  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4. температуры на радиаторах в комнатах находились в диапазоне от  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (период отключения отопления в комнате 1) до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

5. выключение отопления на 12 часов (момент времени  $\tau = 96\text{ ч}$ ) привело к снижению температуры воздуха в комнате 1 на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что показывает достаточную теплоустойчивость помещения.

Как указывалось выше, результаты такого экспериментального исследования кроме самостоя-

тельного интереса могут быть использованы для верификации моделей и методик расчета теплового режима и теплопотерь помещений, идентификации параметров таких моделей с помощью расчетно-экспериментального подхода [6] и выработки оптимальных рекомендаций по снижению теплопотерь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Табуничиков Ю.А. Расчеты температурного режима помещения и требуемой мощности для его отопления или охлаждения. — М.: Стройиздат, 1981. — 76 с.

2. Шевелев В.Б., Розинский Д.И., Черных Л.Ф., Полевой П.П. Экспериментальные исследования натурной модели жилого помещения с электротеплоаккумуляционным отоплением греющим полом // Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом.— К.: ИТТФ НАН Украины, НПП "Элестер". — 2001. — С. 72–85.

3. Драгун В.Л., Филатов С.А., Шевцов В.Ф., Данилевский Л.Н., Лещенко В.Г. Исследование

теплотехнических характеристик жилых домов методами вычислительной ИК-термографии // Тр. науч. трудов.-Тепло- и массоперенос – 97. – Минск. – 1997. – С. 165–175.

4. *Цветков Н.А., Хуторской А.Н.* Результаты исследований нарушений температурно-влажностных режимов работы наружных ограждений жилого дома по ул. Вершинина, 7 (г. Томск) и мероприятия по их устранению // НИИ строит. материалов при Том. гос. архит.-строит. ун-те. – Томск. – 1999. – 19 с.

5. *Государственный стандарт* "Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций" ГОСТ 26254-84. М. 85 г.

6. *Тадля О.Ю.* Вдосконалення методів та моделей розрахункового аналізу теплових режимів та тепловтрат приміщень з різними системами опалення: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.06 / НАН України; Інститут технічної теплофізики. – К., 2004. – 20 с.

*Получено 04.04.2006 г.*