

разцовых преобразователей теплового потока //Тези доповідей V наук.-техн. конф. “Метрологічне забезпечення температурних та теплофізичних вимірювань” — Харків: Держстандарт України, ДНВО “Метрологія”, 1994. — С. 184–186.

7. *Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції: Методика М00013184.5.023-01/ Розробники: Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й. та ін. — К.: ЛОГОС, 2002. — 132 с.*

8. *Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробьев Л.И. и др. Установка для воспроизведения, хранения и передачи единицы поверхностной плотности теплового потока // Наук. праці V міжн. наук.-практ. конф. “Метрологія-2006”. — Харків:*

Держстандарт України, ННЦ “Інститут метрології”, 2006. —Т.2. — С. 329–332.

9. *Ковтун С.И., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. и др. Аппаратурное обеспечение теплоточных измерений //Вимірювальна техніка та метрологія, 2008. — Випуск 68. — С. 126–133.*

10. *Теплофизические измерения и приборы / Е.С.Платунов, С.Е.Буравой, В.В.Курелин, Г.С.Петров / Под общей ред. Е.С.Платунова. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1986. — 256 с., ил.*

11. *Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 367 с.*

Получено 15.04.2009 г.

УДК 536.532:536.629 ;631.243.5

ВИНОГРАДОВ-САЛТЫКОВ В.А.¹, ЯНЧАРЕК М.², ФЕДОРОВ В.Г.³, КЕПКО О.И.³

¹*Национальный университет пищевых технологий,*

²*Люблинская Политехника,*

³*Уманский государственный аграрный университет*

ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЙ

На підставі теплометричних досліджень огорожень термічних камер, що були виготовлені з традиційних матеріалів (цегляна кладка, мінеральна вата), а також із сучасних полегшених композицій (сендвіч-панелі або сендвіч-панелі з додатковим шаром з пінобетонних блоків), зроблено висновок, що усі три варіанти не вимагають зсуву фази теплової хвилі у теплоізоляції. Зроблено спробу упорядкування деяких термінів будівельної теплофізики.

На основе теплометрических исследований ограждений термических камер, изготовленных из традиционных материалов (кирпичная кладка, минеральная вата) и современных облегченных композиций (сендвич-панели или сендвич-панели с дополнительным слоем из пенобетонных блоков), сделан вывод, что все три варианта не нуждаются в сдвиге фазы тепловой волны в теплоизоляции. Сделана попытка упорядочения некоторых терминов строительной теплофизики.

On the basis of heatfluxmetric tests of thermal chambers, whose walls are made of traditional materials (brickwork and mineral wadding) or present-day lightened compositions (sandwich-panels or sandwich-panels plus foam concrete blocks), conclude that all three variants don't need for heat-wave phase shift in isolation. It was demonstrated, that some terms of civil-engineering thermophysics should be ordered.

a — температуропроводность;

A_q — амплитуда колебаний плотности теплового потока;

A_t — амплитуда колебаний температуры;

c — массовая теплоемкость;

q — плотность теплового потока;

t — температура;

D — тепловая инерция (по О.Е.Власову);

R — термическое сопротивление;

s — коэффициент теплоусвоения слоя ограждения (по О.Е.Власову);

Y — коэффициент теплоусвоения поверхности слоя;

α — коэффициент теплоотдачи;

δ — толщина слоя;

Δ – перепад;
 ν – затухание колебаний теплового потока;
 ε – коэффициент поглощения (степень черноты);
 ξ – коэффициент теплоусвоения однородной стенкой (по А.В.Лыкову);
 ρ – плотность;
 ω – частота колебаний;
 ВНИИСТ – Всесоюзный научно-исследовательский институт строительной техники;
 ЛТИХП – Ленинградский технологический институт холодильной промышленности;
 ПБ – пенобетон;
 ППУ – пенопласты на основе полиуретанов (пенополиуретан);

Актуальность темы

Основным теплозащитным свойством ограждений как нагреваемых, так и охлаждаемых помещений, является сопротивление теплопередаче, которое складывается из сопротивления стенки ограждающей конструкции и сопротивлений теплоотдачи с обеих ее сторон. Эта характеристика однозначно определяет заданную температуру воздуха в помещении только при строгом соблюдении стационарного режима, то есть постоянстве температуры наружного воздуха, коэффициентов теплоотдачи, толщин и теплопроводности слоев ограждения, а также при отсутствии всевозможных возмущающих факторов – открывание дверей или окон, включение-выключение нагревательных или охлаждающих устройств, освещения, компьютеров и т.д.

В двадцатых годах прошлого века проф. О.Е. Власов ввел понятия теплоусвоения поверхности и материала слоя ограждения, а также теплоустойчивости ограждения [1], а к середине века эти теплозащитные свойства стали обязательными к учету при проектировании ограждающих конструкций и вошли в СНиП. Несмотря на идеализированные условия тепловых возмущений – колебания тепловых потоков и температур на поверхности и толще ограждения происходят по закону синусоиды, средняя плотность теплового потока не меняется во времени и т. д. – теория О.Е. Власова показала ошибочность оценки теплоустойчивости ограждений только по величине их теплоемкости, что тормозило внедрение об-

ПС (ППС), ПСБ – пенопласты на основе полистирола (пенополистирол);

СНиП – строительные нормы и правила;

УНИИММП – Украинский научно-исследовательский институт мясной и молочной промышленности.

Индексы:

q – по тепловому потоку;

t – по температуре;

атм – от атмосферы к стене;

кам – в камеру;

конв – конвективный;

сум – суммарный.

легченных экономичных конструкций наружных ограждений.

Такие конструкции или их отдельные слои из вспененных пластмасс до сих пор называют безынерционными из-за их малой объемной теплоемкости. В связи с их широким распространением в обогреваемых и охлаждаемых помещениях, а также в качестве изоляции паровых и водогрейных котлов, холодильных аппаратов, тепло- и холодопроводов необходимо расширить экспериментальное исследование теплозащитных свойств этих материалов и конструкций. Наиболее точную информацию можно получить методами тепло- и термометрии.

Анализ исследований и публикаций, постановка задачи

Один из первых и немногих приборов, основанных на принципе вспомогательной стенки и доведенных до малосерийного производства, был ленточный тепломер, или “пояс Шмидта” [2], который применялся для измерения теплопотерь через изоляцию на крупных теплопроводах. Большие габариты не позволяли использовать его в строительной теплофизике. Уменьшенные тепломеры-диски были разработаны и изготовлялись малыми сериями в середине прошлого века для измерения тепловых потоков через ограждения охлаждаемых помещений в ЛТИХП и нагреваемых помещений – в институте “Теплопроект” (Москва). Диаметр дисков составлял 90...300 мм, толщина 3...8 мм, материал – резина или паро-

Табл. 1.

Элементы ограждения	Плотность теплового потока q , Вт/м ²	
	Измеренная	Проектная
Чердачное перекрытие	10,1	2,9
Пол на грунте	3,6	3,0
Наружная стена	6,9	7,2
Стена, отделяющая накопитель	3,2	3,7
Стена, отделяющая аппаратную	4,4	6,1

нит, их собственное термическое сопротивление составляло около $5 \cdot 10^{-2}$ м²·К/Вт, а инерционность измерялась часами [2]. При измерении диски закреплялись на плоских поверхностях ограждений, например, с помощью жидкого алебаstra.

Для стационарного или близкого к стационарному режимов переноса теплоты эти тепломеры давали объективную информацию о теплозащитных свойствах ограждений. В качестве примера приведем результаты обследования лабораторией холодильной техники УНИИММП камеры хранения охлажденного мяса на холодильнике кулинарной фабрики с помощью тепломеров ЛТИХП [3] (табл. 1).

Проектные значения теплопритоков в камеру получены здесь произведением проектных коэффициентов теплопередачи через соответствующие элементы ограждения на измеренные температурные напоры. Выяснилось, что чердачное покрытие было сильно увлажнено.

Разработка малоинерционных малогабаритных тепломеров [2] позволила без заметных искажений процессов теплопереноса измерять плотность тепловых потоков в широком диапазоне их изменения в пространстве и времени. В строительной теплофизике их применяют при исследовании ограждений из традиционных и облегченных материалов. В работе [3] была исследована неравномерность теплопритоков в камеры бытовых холодильников, в ограждениях которых были использованы стеклянная вата или пенополистирол ПСБ, и результаты стали основой комплексного способа определения теплофизических характеристик изоляционных ограждений [4]. Влияние плотности, влажности

и температуры на сопротивление теплопередаче ограждений из композиционных пенопластов ПСФ-ВНИИСТ и ПП, определенное теплотермометрическим способом, было предметом доклада в работе [5]. Всесторонняя проверка этого метода в нескольких организациях привела к тому, что он был стандартизирован [6].

В связи с широким распространением сэндвич-панелей (слой пенопласта между двумя тонкими металлическими листами для гидропароизоляции и придания панели прочности и жесткости) при строительстве охлаждаемых помещений в последние годы появились публикации расчетно-аналитического характера, основанные на тех же допущениях, что теория О.Е.Власова. В серии статей в журнале “Холодильная техника и технология” Ю.А. Мирончук устраняет допущения о постоянстве коэффициента теплоотдачи со стороны окружающей среды и пытается выяснить его влияние на теплоприток в холодильную камеру. Графический результат расчетов настолько необъясним (рис. 1 из [7]), что приводим его факсимиле (рис. 1): при использовании “полной модели теплообмена” с увеличением коэффициента теплоотдачи к ограждению плотность теплового потока в камеру уменьшается! Видимо, к остальным многочисленным графикам (например, температуры внутренней поверхности ограждения приведены с точностью до десятых долей кельвина и т.п.) следует относиться с осторожностью. Единственное конкретное предложение серии статей: при застройке ограждений холодильных камер из сэндвич-панелей следует “облицовывать” их бетонными стенами толщиной 250...400 мм. Иными

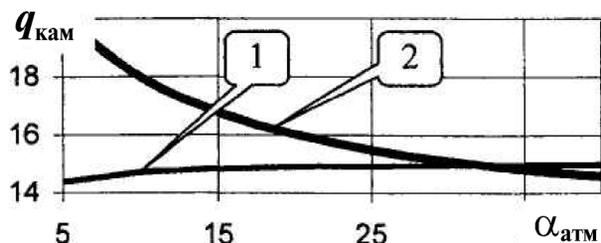


Рис. 1. Зависимость расчетного теплопритока через ограждение от атм при различных способах моделирования граничных условий со стороны окружающей среды: 1 – стандартная методика; 2 – полная модель теплообмена.

словами, нужно возвращаться к “тяжелому” строительству зданий и сооружений.

Цель статьи

Публикация и обсуждение результатов теплотметрического исследования влияния возмущений с наружной стороны камеры на теплоприток в нее для случаев изготовления ограждений из традиционных материалов и сэндвич-панелей. Авторы также пытаются приводить в соответствие понятия и термины строительной теплофизики и классической теории теплопроводности.

Влияние внешних возмущений на теплопритоки в камеру холодильника с ограждениями из традиционных материалов

В работе [8] проведено теплотметрическое исследование теплообменных характеристик изоляционных материалов, а также теплообмена в ограждениях холодильников для лабораторных и натуральных условий. С одобрения автора публикуем фрагмент исследования динамики тепловых потоков и температур в наружной стене камеры замораживания и хранения продуктов распределительного холодильника г. Киева при воздействии на стену солнечного излучения.

Кирпичная стена толщиной 510 мм имела с внутренней стороны двойной слой изоляции – начальный 200 мм из минераловатных матов на битумной мастике и пенобетона 60 мм в качестве штукатурки, а после ремонта – еще 80 мм минеральной ваты и штукатурки 3 см на деревянном

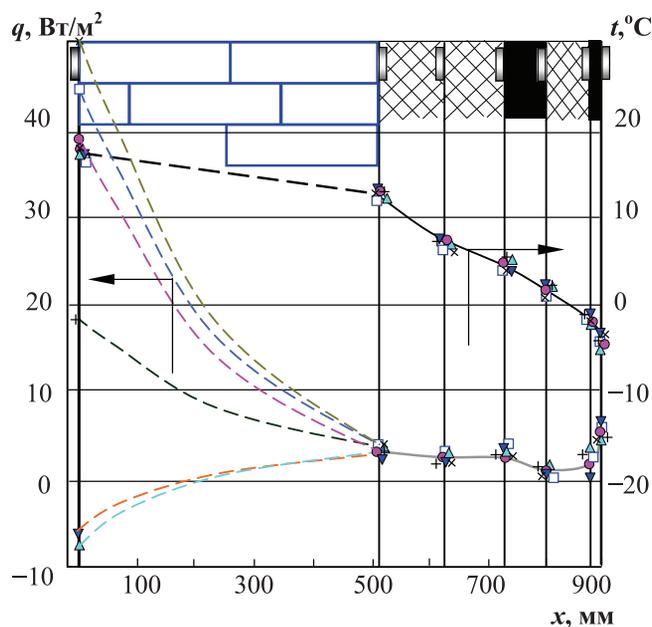


Рис. 2. Динамика температур и тепловых потоков в стене морозильной камеры.

17.05.08 × – 17⁴⁵ 18.05.08 □ – 11¹⁰
 + – 21¹⁵ ● – 16⁰⁵
 ▲ – 23³⁰ ▼ – 21⁴⁵

каркасе и металлической сетке. Парогидроизоляция (местами поврежденная) тоже двойная – по листу рубероида между кирпичом и матами, а также между пенобетоном и ватой (рис. 2). Снаружи стенка облицована частично опавшими керамическими плитками на цементном растворе.

Использовали диффузионно-проницаемые тепломеры диаметром 30 и толщиной 1,2 мм, которые в данных условиях не создавали возмущений для потоков теплоты и влаги [3]. Каждый тепломер имел отдельную встроенную термопару. В середине изоляции было сделано отверстие диаметром 200 мм, заложенное теми же материалами с тепломерами, закрепленными в центре дисков так, чтобы их пластинки были нормальны линиям теплового потока. На внешней поверхности стены тепломер был закреплен под плиткой, с внутренней стороны – на самой поверхности.

Два весенних дня (17 – 18.05.08) измерений были солнечными, датчик под плиткой реагировал на эти возмущения (от +50 до –10 Вт/м²), а все тепломеры в толще изоляции – ни сразу, ни с опозданием. Опытные точки для q и t нанесены на рис. 2 для разных моментов времени. Общий

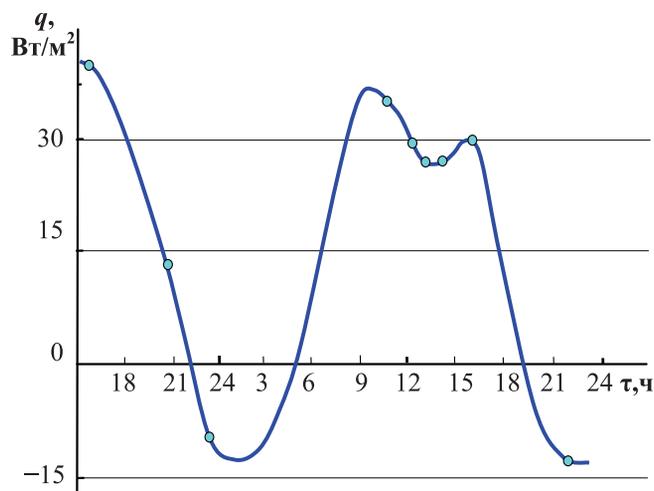


Рис. 3. Изменение теплового потока на внешней поверхности морозильной камеры.

характер снижения q “от кирпича до штукатурки” с 2,5...4 до 1...2 Вт/м² можно объяснить постепенным подсыханием изоляции со стороны камеры. Колебания q на слое штукатурки 1...7 Вт/м² объясняются возмущениями внутри камеры — открыванием дверей, изменением режима работы охлаждающих устройств, никакой гармоничности в изменении q и t на внутренней поверхности не отмечено.

Для наружной поверхности ограждения гармоничность q четко зафиксирована, на рис. 3 показания тепломера под плиткой развернуты во времени. Отклонения q от синусоиды в районе 10–15 часов 18.05 объясняется тем, что в это время солнце пряталось за облаками.

Выводов по этому фрагменту исследования в [8] сделано два. Первый: тепловая изоляция данного ограждения удовлетворяет требованиям СНиП, а пароизоляцию нужно улучшать, так как зимой и весной стена накапливает влагу, а летом испаряет ее внутрь камеры. Второй: исследование тепловой изоляции, тем более поверхност-

ные, желательно проводить после устранения возможных возмущений изнутри камеры.

Влияние внешних возмущений на теплопритоки в термические камеры из сэндвич-панелей

В рамках комплексного теплофизического исследования термических камер для хранения фруктов в 2005–2007 годах изучали влияние прямого солнечного излучения стен ограждения на теплопритоки в камеру. Объектами изучения были две камеры в окрестностях Люблина, на расстоянии 2,5 км одна от другой, обе в период эксплуатации (хранение яблок в ящиках, загрузка камер в весенний период исследования составляла 20...30%). Каждая камера оборудована настенными воздухоохладителями с автоматическим поддержанием температуры воздуха в камере с заставкой $\pm 0,25$ К.

Камера 1 из пенополистирольных ПС сэндвич-панелей на наружном металлическом каркасе, внутренние размеры 9 × 7,2 м, высота 6,8 м. Панель толщиной 200 мм с обеих сторон облицована стальным листом толщиной 0,55 мм с профильными гофрами высотой 5 мм, шириной и расстоянием между гофрами 50...80 мм. Облицовка имеет полиэфирное покрытие. С восточной и северной стороны камера граничит со складом-сортировочной, стены склада выполнены из таких же панелей.

Камера 2 из пенополиуретановых ППУ сэндвич-панелей, снаружи через воздушный зазор 5...8 см обнесена блоками из пенобетона ПБ толщиной 240 мм. С западной и северной сторон граничит со складом-сортировочной, стены склада из таких же блоков. Панель толщиной 100 мм облицована такими же листами, как для камеры № 1. Внутренние размеры камеры 12,2 × 7,2 × 6,8 м³.

Тепло- и термометрическое обследование ограждений проводили в полном соответствии с

Табличные данные характеристик материалов ограждений:

Материал ограждения	λ , Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	a , м ² /с
Камера № 1, ПС	0,041	50	$0,73 \cdot 10^{-6}$
Камера № 2, ППУ	0,027	50	$0,4 \cdot 10^{-6}$
ПБ	0,08	300	$0,7 \cdot 10^{-6}$

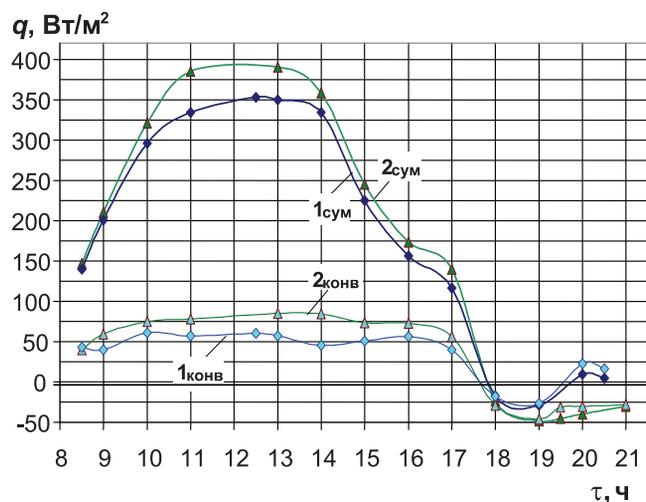


Рис. 4. Динамика тепловых потоков на южных внешних поверхностях ограждений камеры 1 и 2.

ГОСТ 25380-82. [6]. На наружной поверхности стен закрепляли тепломеры $15 \times 15 \times 1,2$ мм, часть из них имела лучеотражательную поверхность с $\varepsilon = 0,1$, остальные — с $\varepsilon = 0,94$; на внутренней поверхности по той же нормали к стенке располагали тепломеры-диски $32 \times 2,5$ мм, все тепломеры имели встроенный спай дифференциальной термопары для измерения температуры поверхности стены.

Определить коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения Y как отношение амплитуды колебаний плотности теплового потока A_q и температуры A_t на этой поверхности оказалось невозможным по двум причинам — из-за большого отличия динамики теплопритока к наружной поверхности за счет солнечного облучения от синусоиды (в пасмурные дни тоже), а также из-за возмущения, вносимого периодически включениями воздухоохладителей. Хотя толщина слоев пенопласта и пенобетона были достаточно большими для утверждения, что коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения равен коэффициенту теплоусвоения слоя ограждения [1]:

$$Y = s = \sqrt{\lambda c p \omega}, \quad (1)$$

определить непосредственным измерением теплоусвоение изоляционного или строительного материала s тоже нельзя. Эти же рассуждения касаются меры интенсивности колебаний темпера-

туры внутри однородного слоя $D = Rs$ (другие названия: массивность, тепловая инерция), меры затухания этих колебаний $v = f(D, s, Y, a)$ и др.

Поэтому перед основными опытами данной серии была поставлена практическая задача: определить степень влияния наиболее сильного теплового возмущения на наружной стороне ограждения с “массивным слоем” и без него — солнечного облучения в весенний день — на теплоприток внутрь камеры. Для анализа выбраны дни 26–28.03.07.

Для наиболее полного сравнения результатов в один из дней (27.03.07) наблюдателя перевозили автомобилем от одной камеры к другой, измерения проводили одним цифровым милливольтметром, поэтому замеры на камерах сдвинуты во времени на 10 мин.

На рис. 4 представлена динамика теплопритоков к наружным поверхностям южных стен обеих камер — суммарных ($1_{\text{сум}}$ и $2_{\text{сум}}$) и за счет конвекции ($1_{\text{конв}}$ и $2_{\text{конв}}$). Все тепломеры были установлены в одинаковой зоне на высоте 2,0 м. Некоторое отличие линий $1_{\text{сум}}$ и $2_{\text{сум}}$ объясняется, видимо, значительно большим термическим сопротивлением ПС по сравнению с ПБ. Это следует из свойства тепломеров-вспомогательных стенок: если тепломер, закрепленный на тонком металлическом листе, с отводом тепла в воздух, облучить солнцем, его сигнал будет стационарно равен половине падающего потока энергии, в соответствии с теорией тепловых экранов. Температура тепломеров на поверхности камеры №1 при солнечном облучении устанавливается выше, чем для камеры №2, поэтому плотность теплового потока за счет конвекции (она пропорциональна разности температур “воздух — стенка”) получается меньше также на камере №1 ($q_{1\text{конв}} < q_{2\text{конв}}$). Все сигналы меняют знак еще до захода солнца (в 18⁴⁵), то есть некоторое время стены отдают тепло в окружающий воздух, что подтверждает измерение температур. На внутренней поверхности ограждений теплоприток был стабильно на уровне 0,5...1,0 Вт/м², и лишь каждые 10–30 мин давал всплеск до 4...6 Вт/м² за счет повышения интенсивности теплоотвода от стены при автоматическом включении воздухоохладителей. На рис. 5 представлены максимумы всплесков и соседние стабильные показани-

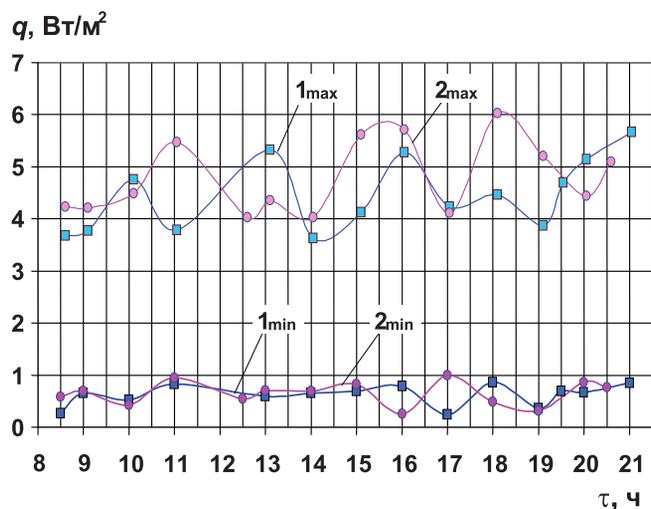


Рис. 5. Динамика тепловых потоков на внутренней поверхности камер 1 и 2.

ния тепломеров. Поскольку время включений составляло 30...60 с каждые 10–30 мин, пересчет среднего значения теплопритоков не проводили.

Определение расчетных значений теплопритоков проводили по стандартной методике, используя табличные значения λ , нормативные α и средние Δt по измеряемым температурам воздуха вне и внутри камер. Получили для камеры № 1 $q_{1расч} = 1,75 \text{ Вт/м}^2$, № 2 (без учета воздушной прослойки – в ней могли быть конвективные токи) – $q_{2расч} = 1,95 \text{ Вт/м}^2$. Таким образом, измеренные теплопритоки через южные стены обеих камер, несмотря на максимально возможное возмущение извне, оказались меньше расчетных

Табл. 2.

Материал	$a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$
Пенобетон	0,335
Пенополиуретан, $\rho=100 \text{ кг/м}^3$	0,278
Пенополиуретан, $\rho=40 \text{ кг/м}^3$	0,496
Пенополистирол, $\rho=100 \text{ кг/м}^3$	0,405
Пенополистирол, $\rho=40 \text{ кг/м}^3$	0,716
Вата минеральная	0,303
Кладка из красного кирпича	0,353
Кладка из пористого кирпича	0,330

(даже с учетом всплесков), флуктуации q никак с этим возмущением не связаны.

Уточнение понятий и определений

Формула (1) в классической теории теплопроводности [9] получена при решении задачи о распределении температуры в полуограниченном теле, если в начальный момент его поверхность соприкасается со средой, температура которой изменяется по закону простого гармонического колебания. Величина $\sqrt{\lambda c \rho \omega}$ названа максимальным потоком теплоты, подведенным к поверхности при амплитуде колебаний температуры на ней в 1 К, что совпадает с определением в [1]. Однако коэффициентом теплоусвоения в [9] названа другая величина

$$\xi = \sqrt{\frac{a}{\omega}} = \sqrt{\frac{\lambda}{c \rho \omega}}, \text{ то есть объемная теплоемкость}$$

$c \rho$ из числителя попадает в знаменатель, а теплоусвоение тела характеризуется не $\lambda c \rho$, а другим комплексом – температуропроводностью.

К этому же выводу можно прийти, если рассмотреть формулу для характеристики тепловой инерции D из [1]

$$D = \sum R_i s_i, \tag{2}$$

т.е. тепловая инерция многослойной стенки обладает аддитивностью.

Для каждого слоя $D = Rs$ подставим значения R и s для плоского слоя, получим

$$D = Rs = \frac{\delta}{\lambda} \sqrt{\lambda c \rho \omega} = \frac{\delta}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 \omega / a} = \delta \sqrt{\omega / a} = \frac{\delta}{\xi}. \quad (3)$$

Таким образом, снова получаем, что из теплофизических характеристик на инерцию теплозащитного слоя влияет только температуропроводность, причем с уменьшением a величина D возрастает. Если учесть, что температуропроводность исследованных материалов (табл. 2) [10] имеет один порядок, то безынерционными называть некоторые из них некорректно.

Выводы

1. На основании прямых измерений плотности теплового потока внутри камер с ограждениями из традиционных материалов (кирпичная кладка плюс минеральная вата) и облегченных материалов (сэндвич-панелей без массивных дополнений и с добавочным слоем из пенобетонных блоков) можно утверждать, что рассчитанные по стандартной методике ограждения всех трех типов не нуждаются в сдвиге фазы тепловой волны в теплоизоляции [11].

2. Понятия и определения, принятые в строительной теплофизике (массивность, тепловая инерция, теплостойкость и др.), желательны привести в соответствие с терминами, понятиями в классической теории теплопроводности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский В.М. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
 2. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Техника теплотехнического эксперимента. – К.: Наук. думка, 1964. – 164 с.

3. Федоров В.Г. Теплометрия в пищевой промышленности. – М: Пищ. пром-сть, 1974. – 176 с.

4. Федоров В.Г., Геращенко О.А., Пилипенко А.М. Определение теплофизических характеристик корпусов холодильников. В кн: Электробытовые машины и приборы. – М.: ЦНИИТЭИ, 1969. – С. 64–74.

5. Иванов В.Е., Пахомов В.Н., Федоров В.Г. Теплометрический метод испытаний ограждающих конструкций // Методы и средства теплофизических измерений. – М.: Тез. докладов Всесоюз. научн-техн. конф. (Севастополь) 1987. – С.173–174.

6. ГОСТ 25380-82. Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. Исп. И.Г. Кожевников, И.Н. Бутовский, В.Т. Бузынюк; И.С. Лифанов. – М.: Госстандарт СССР, Переизд. 1987. – 7 с.

7. Мирончук Ю.А. Проектирование теплоустойчивых ограждений холодильников // Холодильная техника и технология. – 2006. – № 2. – С.37–43.

8. Федорова О.В. Удосконалення методів дослідження та прогнозування тепломасопереносу в ізоляційних конструкціях. Автореф. дис... канд. техн. наук. – К.: КПІ, 1993. – 18 с.

9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1987. – 600 с.

10. ДБН В.2.6-31-2006. Будівлі і споруди. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с.

11. Мирончук Ю.А. Исследование условий целесообразности сдвига фазы тепловой волны в теплоизоляции холодильных камер // Холодильная техника и технология. – 2004. – № 3. – С.11–16.

Получено 21.11.2008 г.