УДК 699.86

С.Н. Курочкин
Научный руководитель: доктор технических наук, профессор В.С. Грызлов

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

На данный момент тепловая инерция как параметр отсутствует в расчетах тепловой защиты зданий. Необходимость его учета обусловлена тем, что он отражает теплозащитные свойства ограждающих конструкций при их работе в реальных условиях. Для оценки влияния тепловой инерции материалов на теплозащитные свойства ограждающих конструкций была проведена научно-исследовательская работа.

Нестационарная теплопередача, теплоусвоение, тепловая инерция, теплоустойчивость.

At the moment, the thermal inertia of the parameter is missing in the calculation of the thermal protection of buildings. The need to take it into account conditioned by the fact that it reflects the heat-shielding properties of the building envelope when operating in real conditions. To assess the effect of the thermal inertia of the material on the heat-shielding properties of building envelopes the research work has been carried out.

Transient heat transfer, heat absorption, thermal inertia, thermal stability.

Цель исследования – оценка влияния тепловой инерции материалов на теплозащитные свойства ограждающих конструкций в условиях нестационарной теплопередачи. Задача – проведение испытаний фрагментов ограждающих конструкций с различными конструктивно-технологическими решениями в натурных условиях. На кафедре «Строительных технологий и экспертизы недвижимости» Череповецкого государственного университета действует специальный стенд для проведения длительных натурных теплотехнических исследований. Схема экспериментального стенда приведена на рис. 1.

Измерения и анализ осуществляются посредством измерительно-вычислительного комплекса, состоящего из:

1. Набора термопар и тепломеров для измерения температур и плотности теплового потока.

2. Электронного регистратора Параграф-М для регистрации полученных физических величин.

3. Метеостанции Oregon Scientific для определения наружных и внутренних условий проведения эксперимента.

4. Измерителя теплопроводности ИТП МГ4 «Зонд».

5. Компьютера для анализа полученных данных.

Точность полученных результатов измерений достигается использованием измерительных устройств высокой точности.

Точность расчетов в значительной степени зависит от правильного выбора значений теплотехнических показателей строительных материалов. Эти показатели изменяются в зависимости от различных условий, что может дать погрешность полученных результатов.

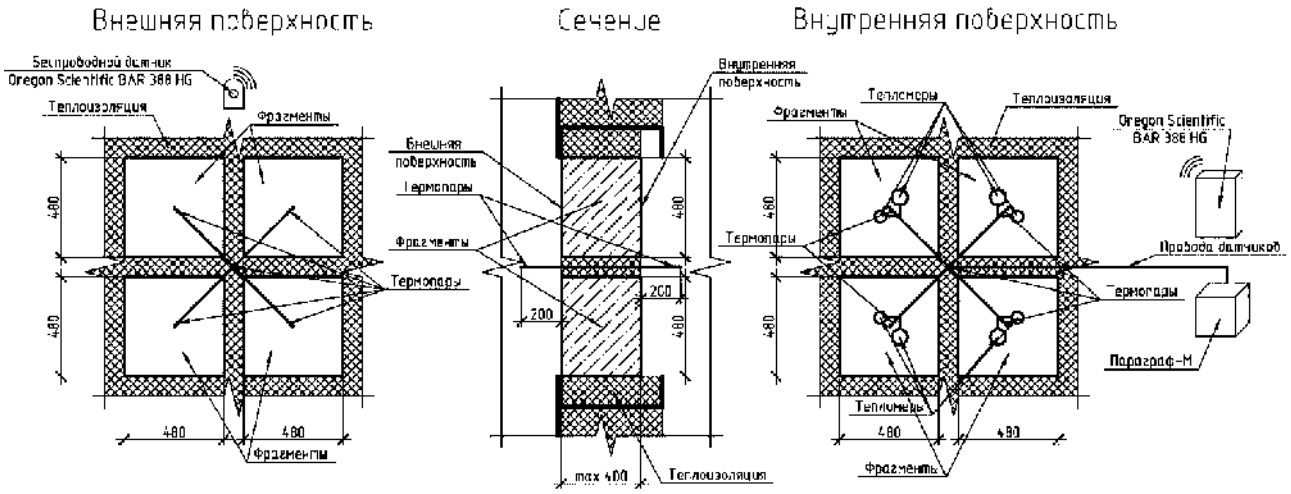


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Стенд позволяет одновременно проводить испытания четырех фрагментов ограждающих конструкций размерами 480х480 мм различной толщины. Это дает возможность сравнения разных материалов в идентичных температурных условиях. Проведенный эксперимент отличается большой степенью воспроизводимости результатов.

Для испытания были выбраны различные конструктивно-технологические решения ограждающих конструкций. Толщина фрагментов задавалась, исходя из возможностей стенда и условия одинакового сопротивления теплопередаче. Теплотехнические характеристики фрагментов приведены в таблице. Материалы, используемые в фрагментах, указаны в столбцах по слоям, начиная с наружного слоя. В строках сначала указаны характеристики материалов в отдельности по слоям, а в конце таблицы – суммарные характеристики всего фрагмента. Расчетное массовое отношение влаги в материале и расчетные коэффициенты теплопроводности приняты для условий эксплуатации А (по прил. Д, СП 23-101-2004).

Фрагменты представляют собой ограниченное тело с тепловой изоляцией боковой поверхности. Предполагается, что боковая поверхность имеет идеальную изоляцию. Таким образом, температура изменяется только по толщине фрагмента, в других направления температура не изменяется.

Для проведения исследования был выбран холодный период года, так как в это время характерны особенно резкие колебания температуры в пределах суток. Зимние теплотехнические испытания проводились при метеорологических условиях, достаточно близких к расчетным.

Во время эксперимента с помощью термопар измерялась температура внутренней и наружной поверхности фрагментов и плотность теплового потока, проходящего через внутреннюю поверхность фрагментов. Также измерялась температура и влажность внутреннего и наружного воздуха. Значения измерений фиксировались круглосуточно через каждые 5 мин. Это позволило получить четкую картину происходящих изменений температуры и плотности теплового потока.

По величине тепловой инерции ограждающие конструкции делятся на: неинерционные ($D \le 2$), малой инерционности ($2 < D \le 4$), средней инерционности ($4 < D \le 7$), большой инерционности ($D > 7$). Исследовались фрагменты с различными значениями тепловой инерции, что позволило оценить ее влияние на теплозащитные свойства.

На рис. 1 и 2 представлена выборка экспериментальных данных за несколько суток для фрагментов № 3 и № 4 соответственно. Наружная поверхность фрагментов направлена на юго-запад, поэтому во второй половине дня наблюдаются температурные пики, связанные с нагревом поверхности фрагментов солнцем. Это обеспечило особенно резкие колебания температуры наружной поверхности фрагментов в пределах суток.

Таблица

Характеристика фрагментов ограждающих конструкций

Слои		Конструкция 1	Конструкция 2	Конструкция 3	Конструкция 4	Размерность
1	2	3	4	5	6	7
Слой 1	Материал	Керамзитобетон	ЦП Раствор армированный	ГВЛ	Пенобетон	-
	δ (толщина)	0,3	0,02	0,01	0,3	м
	λ (теплопроводность)	0,29	0,76	0,22	0,22	Вт/(м·℃)
	R (сопротивление теплопередаче)	1,03	0,03	0,05	1,36	м²·℃/Вт
	c_0 (удельная теплоемкость)	0,84	0,84	0,84	0,84	кДж/(кг·℃)
	γ (плотность)	900	1800	1200	600	Кг/м³
	w (массовое отношение влаги)	5	2	4	8	%
	s (коэф. теплоусвоения)	4,47	9,60	4,40	3,36	Вт/(м²·℃)
Слой 2	Материал	-	Пенопласт	Экструзионный пенополистирол	-	-
	δ (толщина)	-	0,04	0,05	-	м
	λ (теплопроводность)	-	0,05	0,031	-	Вт/(м·℃)
	R (сопротивление теплопередаче)	-	0,80	1,61	-	м²·℃/Вт
	c_0 (удельная теплоемкость)	-	1,34	1,34	-	кДж/(кг·℃)

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
	γ (плотность)	-	15	25	-	Кг/м³
	w (массовое отношение влаги)	-	2	2	-	%
	s (коэф. теплоусвоения)	-	0,28	0,28	-	Вт/(м²·℃)
Слой 3	Материал	-	Кирпич силикатный	ГВЛ	-	-
	δ (толщина)	-	0,25	0,01	-	м
	λ (теплопроводность)	-	0,76	0,22	-	Вт/(м·℃)
	R (сопротивление теплопередаче)	-	0,33	0,05	-	м²·℃/Вт
	c_0 (удельная теплоемкость)	-	0,88	0,84	-	кДж/(кг·℃)
	γ (плотность)	-	1600	1200	-	Кг/м³
	w (массовое отношение влаги)	-	2	4	-	%
	s (коэф. теплоусвоения)	-	9,24	4,40	-	Вт/(м²·℃)
R_k (термическое сопротивление фрагмента)		1.03	1,16	1,70	1,36	м²·℃/Вт
D (тепловая инерция фрагмента)		4.62	3,52	0,86	4,59	Безразмерная
ε (время запаздывания проникания колебаний)		12.08	9,09	1,92	11,98	ч
δ (толщина фрагмента)		0.3	0,31	0,07	0,3	м
R_0 (сопротивление теплопередаче фрагмента)		1.19	1,31	1,86	1,52	м²·℃/Вт

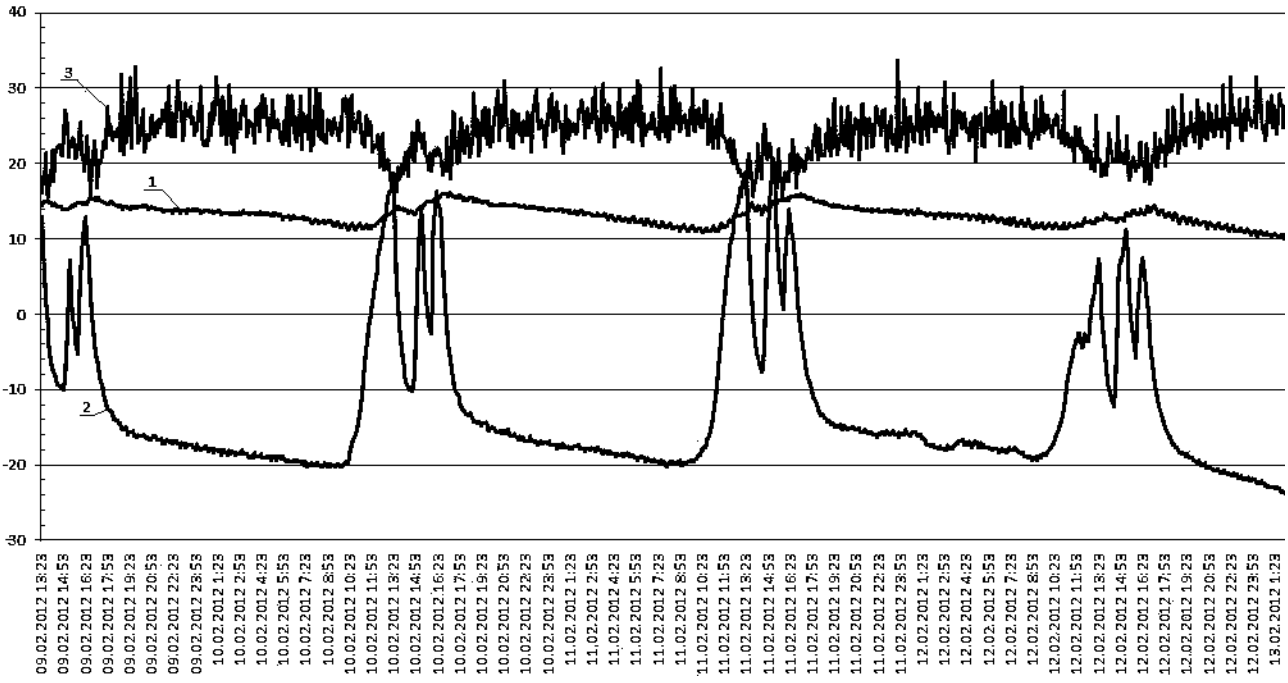


Рис. 1. Выборка данных для неинерционного фрагмента № 3 (*D* = 0,86; *R* = 1,70 м² · ℃/Вт):

1 – температура на внутренней поверхности фрагмента, °С;
2 – температура на наружной поверхности фрагмента, °С;
3 – тепловой поток, проходящий через внутреннюю поверхность фрагмента (Вт/м^2)

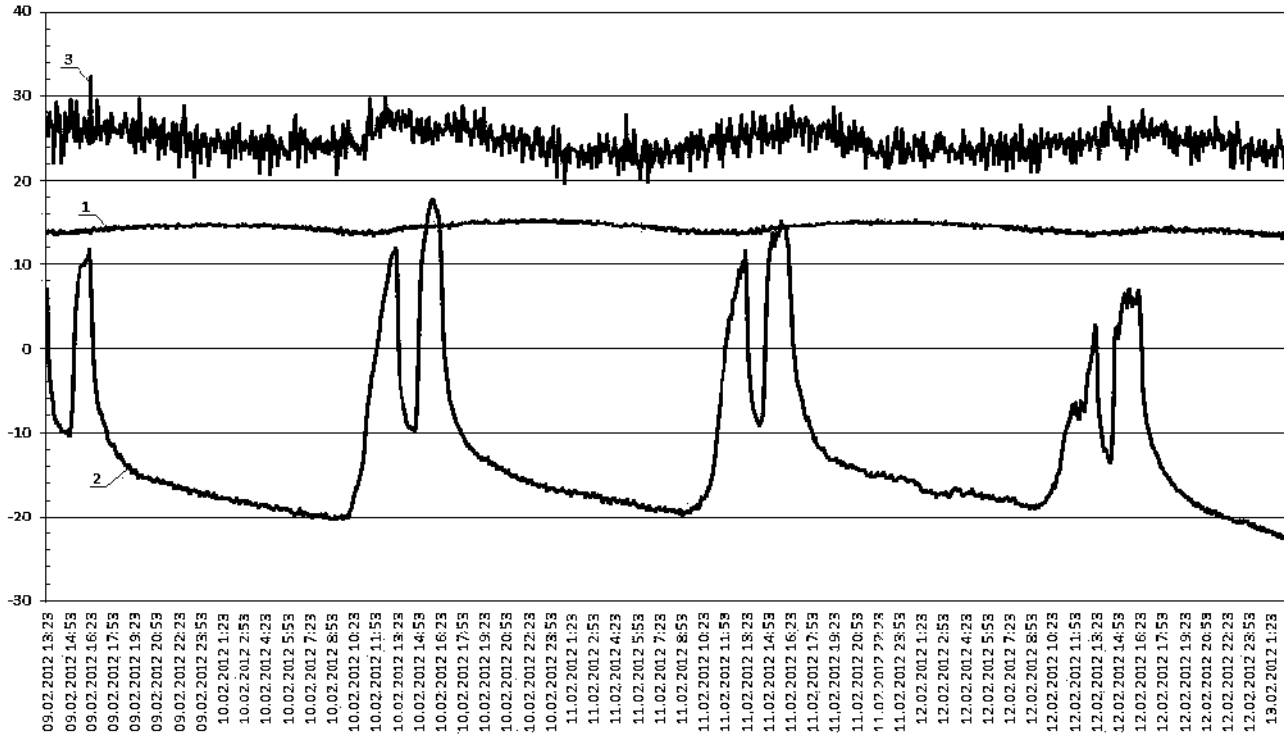


Рис. 2. Выборка данных для фрагмента № 4 средней инерционности (D = 4,59; R = 1,36 м² · ℃/Вт):

1 – температура на внутренней поверхности фрагмента, °С;
2 – температура на наружной поверхности фрагмента, °С;
3 – тепловой поток, проходящий через внутреннюю поверхность фрагмента (Вт/м^2)

Приведенные на графиках результаты эксперимента наглядно демонстрируют наличие нестационарной теплопередачи через ограждающие конструкции, которая вызвана дневными всплесками температур на наружной поверхности за счет солнечной радиации. Эти колебания вызывают, в свою очередь, колебания температуры на внутренней поверхности ограждения, которые происходят с запаздыванием во времени. На графиках видно временное смещение экстремумов тепловых потоков и температур на внутренней поверхности относительно наружной поверхности. Величина запаздывания и амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения объясняются тем, что в то время, как величина теплового потока достигла своего минимума и начала увеличиваться, температура на внутренней поверхности ограждения продолжает еще некоторое время понижаться вследствие наличия тепловой инерционности материалов. Такое же отставание будет при достижении тепловым потоком своего максимума.

Это доказывает, что тепловая инерция материалов ограждающих конструкций оказывает определенное влияние на микроклиматические параметры помещений в условиях нестационарной теплопередачи через ограждающие конструкции и говорит о необходимости учета этого параметра при расчете значения сопротивления теплопередачи. Во фрагментах с низкой тепловой инерцией амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности больше, чем во фрагментах с относительно высоким значением тепловой инерции. Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение тепловой инерции конструкций способствует улучшению ее теплозащитных качеств при нестационарной теплопередаче. Компенсировать отсутствие теплоаккумулирующей способности в малоинерционных ограждающих конструкциях возможно за счет увеличения толщины теплоизоляции, это позволит уменьшить амплитуду колебания температуры внутренней поверхности.

Литература

1. *Богословский, В.Н.* Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В.Н. Богословский. – М., 1982.

2. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

3. *Фокин, К.Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – М., 1973.