

Романюк С.П.

Харьковский национальный
 технический университет
 сельского хозяйства
 имени П. Василенко,
 г. Харьков, Украина,
 E-mail: Techmat@ukr.net

**ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА
 СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

УДК 69.058.7

Выполнены исследования по оценке состояния строительных конструкций. Проведен анализ уровня тепловых потерь в кирпичном и деревянном зданиях. Выявлены отклонения и даны рекомендации по устранению скрытых дефектов, выявленных методом тепловизионного контроля, для повышения энергоэффективности исследуемых строений.

Ключевые слова: *строительные конструкции, теплопроводность, энергоэффективность, пористость, древесина, кирпич, температура*

Актуальность проблемы. Энергоэффективность строительных конструкций зависит, в первую очередь, от используемого сырья и выбранной технологии возведения здания. В настоящее время распространено строительство деревянных, кирпичных, каменных и каркасных домов. Каждый из предложенных видов материала имеет свои физические, механические и эксплуатационные свойства. Эти характеристики элементов конструкции вносят существенный вклад в энергоэффективность сооружения и тепловой баланс внутри помещения.

Для повышения долговечности зданий и создания оптимальных параметров микроклимата в строительных сооружениях необходим контроль тепловых потерь на различных стадиях их жизненного цикла, начиная с проектирования, строительства, в процессе эксплуатации и реконструкции.

Целью работы является определение степени тепловых потерь различных строительных сооружений для обеспечения энергоэффективности зданий.

Анализ публикаций по данной проблеме. Теплопроводность является одной из важных теплозащитных свойств материалов. Она характеризуется коэффициентом теплопроводности λ [Вт/(м·К)]. Чем меньше значение коэффициента теплопроводности, тем ниже тепловые потери. В табл. 1. приведены значения теплопроводности некоторых материалов [1-3].

Таблица 1

Теплопроводность материалов			
Материал	λ , Вт/(м·К)	Материал	λ , Вт/(м·К)
Серебро	425	Вода	0,58
Алюминий	230	Полиэтилен	0,34
Железо	73,2	Вулканический туф	0,4 - 0,8
Сталь	58,0 – 60,0	Полистирол	0,084
Графит	180	Арболит	0,09 - 0,17
Гранит	2,8 - 3,4	Совелит	<0,093
Плиты: древесноволокнистые пробковые	0,05 - 0,09 0,04 - 0,05	Пенополиуретан	0,021
		Пенопласт	0,04 - 0,06
		Минеральная вата	0,04 - 0,08
Стекло (силикатное)	0,75	Воздух	0,024
Пеностекло	0,05 - 0,12		

Теплоизоляционные материалы должны иметь показатель теплопроводности не более чем 0,175 Вт/(м·К) [1].

Строительные материалы органического происхождения имеют меньшую теплопроводность по сравнению с минеральными, при одинаковой их плотности.

Теплопроводность строительных материалов зависит от многих факторов и существенно уменьшается с увеличением их пористости (табл.2). При этом следует учитывать размеры пор и их распределение. Минимальная теплопроводность будет у материала с максимальным количеством равномерно распределенных мелких пор.

Таблица 2

Коэффициент теплопроводности некоторых строительных материалов при различной пористости

Материал	Пористость, %	λ , Вт/(м·К)	Материал	Пористость, %	λ , Вт/(м·К)
Бетон на щебне	21	0,81	Кирпич красный	20	0,8
	28	0,71		26	0,68
	32	0,62		30	0,58
Пенобетон	56	0,275		33	0,53
	59	0,246		37	0,475
	63	0,218		Кирпич силикатный	13
	67	0,19	22		0,73
	71	0,165	25		0,618
	75	0,145	28	0,588	
	79	0,128	Фибролит	71	0,105
	82	0,115		78	0,09
	85	0,103		84	0,08
	88	0,092			

Следует отметить, что на коэффициент теплопроводности влияет и температура окружающей среды (табл. 3). В таблице приведены пределы данных при минимальной и максимальной пористости [4].

Различия в значениях теплопроводности связано с тем, что происходит замещение пор с сухим воздухом в используемом материале на влажный воздух или воду, теплопроводность которых существенно выше. При отрицательных температурах λ будет выше, чем при положительных. При этом, данный коэффициент изменяется в 1,2 – 2,3 раза не пропорционально для различных материалов. Максимальный разброс показаний в зависимости от температуры характерен для пенобетона и минимальный – для фибролита.

Эффективная теплопроводность строительных материалов λ_{eff} (коэффициент теплопроводности) экспериментально [5] рассчитывается по формуле (1):

$$\lambda_{eff} = d/R, \tag{1}$$

где d – толщина испытываемого образца, R – термическое сопротивление.

Расчетные и эксплуатационные характеристики элементов конструкции могут существенно отличаться. Это связано с качеством строительных материалов, изменениями в технологии возведения сооружения и отклонениями от проектной документации. Сверхнормативные потери тепла происходят через стены (до 36%), окна (до 29,0%), кровлю (до 24,0%) и фундамент (до 6,0%) [6].

Коэффициент теплопроводности некоторых строительных материалов
 при различной объемной влажности

Материал	Объемная влажность, %						
	0	10		20		30	
	«+» T, °C	«+» T, °C	«-» T, °C	«+» T, °C	«-» T, °C	«+» T, °C	«-» T, °C
Бетон на щебне	0,62 - 0,81	0,71 - 0,915	0,831- 1,005	0,78	1,02	-	-
Пенобетон	0,092 - 0,275	0,16 - 0,375	0,287- 0,52	0,211- 0,432	0,448- 0,749	0,256 - 0,5	0,589- 0,975
Кирпич силикатный	0,588 - 0,84	0,675 - 0,975	0,815- 1,04	0,76	1,25	-	-
Кирпич красный	0,475- 0,8	0,61- 0,915	0,725- 1,07	0,73	0,95	-	-
Сосна поперек волокон	0,115	0,15	0,219	0,184	0,321	0,218	0,423
Сосна вдоль волокон	0,28	0,35	0,45	0,42	0,62	0,49	0,79
Дуб поперек волокон	0,29- 0,34	0,35- 0,386	0,48- 0,52	0,4- 0,43	0,65- 0,69	0,45- 0,474	0,82- 0,86
Дуб вдоль волокон	0,126- 0,15	0,164- 0,184	0,235- 0,27	0,195- 0,216	0,338- 0,378	0,225- 0,248	0,438- 0,486
Фибролит	0,08- 0,105	0,141- 0,181	0,173- 0,21	0,211- 0,253	0,259- 0,304	0,283- 0,325	0,345- 0,39

Оценить фактическое состояние здания и выявить брак теплоизоляции возможно только при проведении практических исследований сооружений. Даже если среднее сопротивление теплопроводности здания соответствует эксплуатационным требованиям, существуют скрытые дефекты, приводящие к инфильтрации холодного воздуха.

Методика и результаты исследований. Исследования проводили на строениях из кирпича и дерева, которые расположены в Харьковской области в различные периоды их жизненного цикла. Кирпичный дом прослужил более семи лет, а деревянный - в первый год эксплуатации. Обследование сооружений проводилось в зимний период при отрицательной наружной температуре -1°C.

Для качественной оценки состояния кирпичного и деревянного строений проведено обследование этих помещений методом тепловизионного контроля [7], который основан на дистанционном измерении полей температур поверхностей конструкций. Термограмма, полученная в результате неразрушающего контроля строительного сооружения, дает возможность судить о техническом состоянии исследуемого здания и выявить зоны с потерей тепловой энергии.

Для оценки температурных неоднородностей в отопляемом кирпичном строении использовали тепловизор Fluke Ti20. В результате проведенного исследования здания обнаружены скрытые дефекты в стене и перекрытии (рис.1).

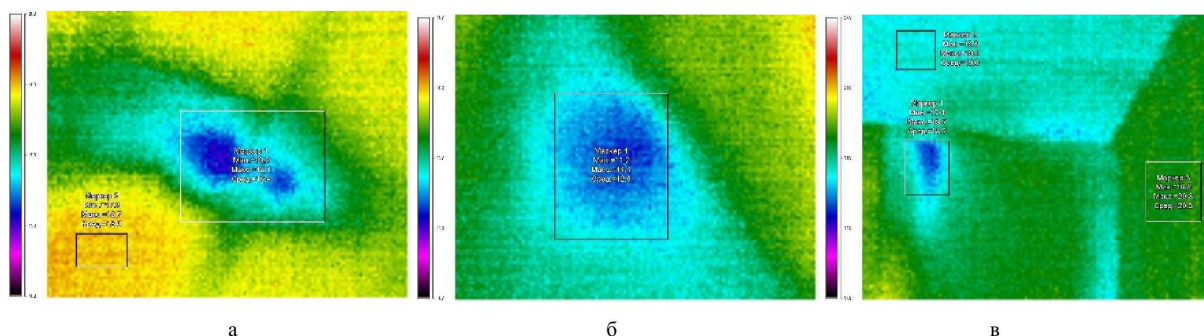


Рис.1 – Термограммы с выявленными дефектами конструкций:
а,б – в перекрытии, в – в стене

Через дефекты кирпичной кладки (см.рис.1.в) локально на 14,3% увеличены потери тепла в стене и на 38,8% в перекрытии.

Углы также являются источником потери тепла (рис.2). Так, в верхнем углу потери составляют 18,3%, при этом в нижнем - увеличены до 60,6%.

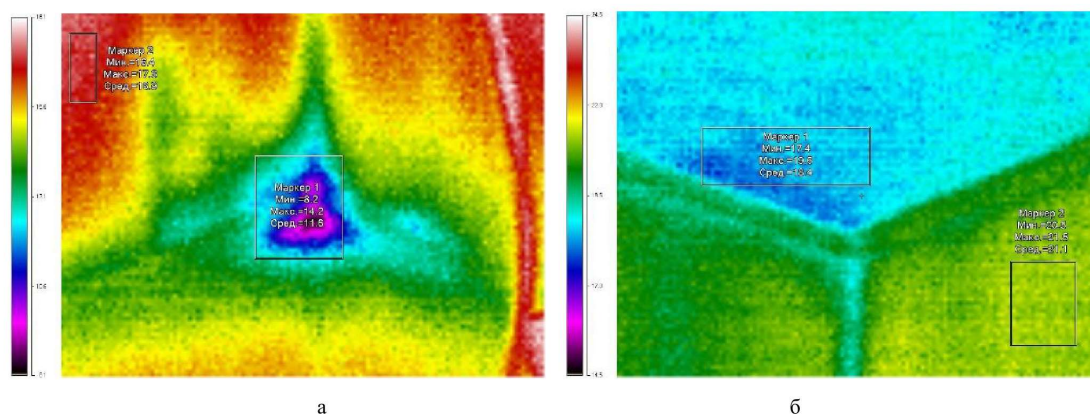


Рис.2 – Пониженная температура в нижнем (а) и верхнем (б) углах кирпичного дома

В результате проведенной тепловизионной диагностики деревянного здания, обнаружены существенные дефекты, связанные с качеством строительного материала.

Недопустимо проведения монтажа конструкций из древесины высокой влажности. Это связано с тем, что при увеличении уровня влажности строительных материалов их теплопроводность повышается (см. табл.3).

Кроме этого, нарушение технологии монтажа с использованием влажной древесины приводит к тому, что в процессе эксплуатации здания происходит усушка строительного материала с формированием трещин и щелей по углам дома, а также в зонах примыкания пола (рис.3). Все эти дефекты являются основным источником тепловых потерь.

Углы в деревянном здании также являются источника потери тепла (см. рис.3). Так, в нижнем углу потери составляют 56,7%. В зоне горизонтального стыка стены и пола (см. рис.3.в) - 42,4%., в трещине - 44,6%.

Выявленные скрытые дефекты в строительных конструкциях могут приводить к промоканию и промерзанию данных зон, а также служить центрами механических напряжений, приводящих к возникновению градиентов температур.

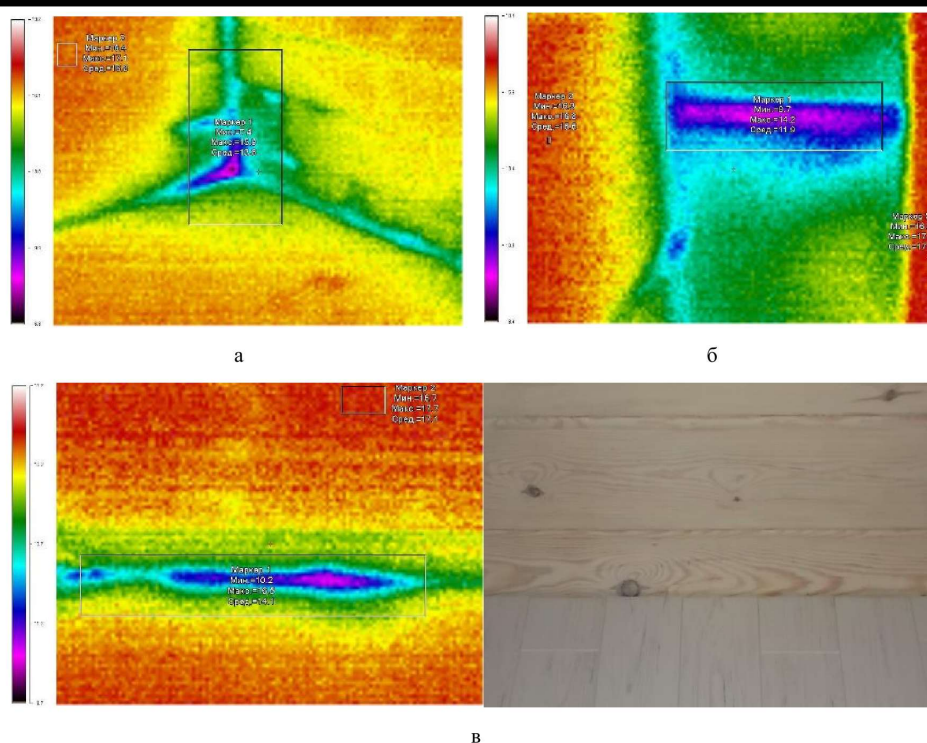


Рис.3 – Потери тепла в нижнем углу (а), трещине (б), в зоне примыкания стены и пола (в) деревянного здания

Для устранения возникших дефектов в кирпичном и деревянном строениях рекомендуется дополнительное применение наружного утепления. Так как в процессе тепловизионной диагностики выявлены локальные дефекты с потерей тепла до 56,7 - 60,6%, то целесообразно учитывать эти данные при выборе теплоизоляционного материала, который сможет компенсировать возникший градиент температур и обеспечить необходимый уровень теплопроводности. Материал должен иметь коэффициент λ на 61% ниже от существующей нормы в 0,175 Вт/(м·К), что составляет 0,068 Вт/(м·К). Из анализа табл. 1. следует, что в качестве утеплителя можно использовать, например, пенополистирол (пенопласт) или пенополиуретан [2]. Минеральная вата накапливает влагу и опасна для здоровья (в странах Евросоюза запрещена) [8].

Кроме этого, в деревянном доме необходимо провести герметизацию трещин и щелей, а также дополнительное утепление фундамента.

Выводы. В работе проведены исследования по оценке состояния кирпичного и деревянного строений в Харьковской области в различные периоды их жизненного цикла с помощью тепловизионного метода.

Применение неразрушающего контроля позволило выявить зоны с пониженным сопротивлением теплопроводности.

В результате проведенного исследования здания, построенного из кирпича, после 7 лет эксплуатации, обнаружены скрытые дефекты в стене, перекрытии, а также в углах строения, приводящие к локальным тепловым потерям от 14,3% до 60,6%.

В процессе первого года эксплуатации деревянного здания произошла усушка строительного материала с формированием трещин и щелей по углам дома, а также в зонах примыкания пола. Уровень локальных тепловых потерь в деревянном строении колеблется от 44,4% до 56,7%.

Рекомендовано учитывать данные, полученные в процессе тепловизионной диагностики, при выборе теплоизоляционного материала. Это позволит повысить долговечность строительных конструкций и обеспечит их энергоэффективность.

Литература:

1. Широкий Г.Т. Строительное материаловедение в лекционном изложении / Г.Т. Широкий, М.Г. Бортницкая. – Минск: БНТУ, 2017. – 67с.
2. <http://stroynedvizhka.ru/stroitelnye-materialy/sostav-svoystva-penopoliuretana/>
3. Будівельні матеріали в двох частинах. Ч. 1. Ю.Г. Гасан, Т.М. Пащенко. - Київ: КНУБА, 2013. - 208с.
4. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А.У. Франчук. – Москва: НИИСФ, 1969. - 142с.
5. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М., 1999.
6. Будадин О. Н. Комплексный тепловой контроль зданий и строительных сооружений / О. Н. Будадин, Е. В. Абрамова, Т. Е. Троицкий-Марков // В мире неразрушающего контроля. – Санкт-Петербург, 2004. - №1 (23). – С.21-24.
7. ГОСТ 26629-85 Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – М., 1985.
8. <http://estp-blog.ru/rubrics/rid-6043/>

Summary

Romaniuk S.P. Thermal imaging diagnostics of building structures state

Studies on the evaluation of the building structures state is carried out. The analysis of the heat losses level in brick and wooden buildings is conducted. The deviations were revealed and recommendations were given on the elimination of hidden defects, detected by the thermal imaging control method, for increasing the energy efficiency of the structures under study.

Keywords: building structures, thermal conductivity, energy efficiency, porosity, wood, brick, temperature

References

1. Shirokij G.T. Stroitel'noe materialovedenie v lekcionnom izlozhenii / G.T. Shirokij, M.G. Bortnickaja. – Minsk: BNTU, 2017. – 67s.
2. <http://stroynedvizhka.ru/stroitelnye-materialy/sostav-svoystva-penopoliuretana/>
3. Budivel'ni materiali v dvoh chastinah. Ch. 1. Ju.G. Gasan, T.M. Pashhenko. - Kii'v: KNUBA, 2013.- 208s.
4. Franchuk A.U. Tablicy teplotekhnicheskikh pokazatelej stroitel'nyh materialov / A.U. Franchuk. – Moskva: NIISF, 1969. - 142s.
5. GOST 7076-99 Materialy i izdelija stroitel'nye. Metod opredelenija teploprovodnosti i termicheskogo soprotivlenija pri stacionarnom teplovom rezhime. – M., 1999.
6. Budadin O. N. Kompleksnyj teplovoj kontrol' zdaniy i stroitel'nyh sooruzhenij / O. N. Budadin, E. V. Abramova, T. E. Troickij-Markov // V mire nerazrushajushhego kontrolja. – Sankt-Peterburg, 2004. - №1 (23). – S.21-24.
7. GOST 26629-85 Metod teplovizionnogo kontpolja kachestva teploizoljicii ogpazhdajushih konstupkcij. – M., 1985.
8. <http://estp-blog.ru/rubrics/rid-6043/>