

Experimental investigation of thermal conductivity of moisture ceramic building materials

O.M. Nedbailo¹, O.G. Chernyshyn¹, M.P. Kuzminec²

¹ - The State Enterprise "Engineering Center "Drying"" Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine
Tel.: +380444240279, tel./fax +380444243283
E-mail: icsushka@gmail.com

² - National Transport University, str. Boychuka, 42, Kyiv, 01103, Ukraine
Tel.: +380442849713
E-mail: kuzminecmp@ukr.net

Article info: received 11.12.2017, revised 24.12.2017, accepted 28.12.2017

Nedbailo O.M., Chernyshyn O.G., Kuzminec M.P. (2017) Experimental investigation of thermal conductivity of moisture ceramic building materials 4(37), doi: 10.26909/esl.4.2017.2

Experimental researches of dependence of calorific conduction of a building red brick from his relative humidity are lead. To determine the coefficient of thermal conductivity of building materials, depending on the degree of their moisture content, the regular-mode method was used. It is shown, that with an increase of temperature of a brick and a moisture content in it, the conductivity coefficient is essentially incremented. An additional influence on the process of thermal conductivity is the diffusion of water vapor, which increases the heat transfer. With an increase in the moisture content from 6 to 11 ... 12%, a sharp increase in the values of the thermal conductivity coefficient is observed. This can be explained by the appearance of capillary condensation and the displacement of air by water from microcapillaries. Studies were first conducted for a "wet" brick. Then a similar experiment was conducted for a "dry" bricks - dried and directly removed from the oven - dryer. It should be borne in mind that as the moisture content rises, thermal conductivity increases and the thermal insulation properties of building materials deteriorate. This is explained by the fact that the pores of brick instead of air are filled with water vapor and water, which leads to an increase in thermal conductivity. This process in different materials occurs in different ways. It depends on the structure and properties of the material. For example, in porous concretes it is assumed that the increase in the coefficient of thermal conductivity is about 4,5% per 1% increase in moisture. It is obvious that with increasing temperature the thermal conductivity increases. So for a "dry" brick, even in such a small temperature change from 6 to 16 °C, the coefficient of thermal conductivity increases by 1,4 times. A similar increase in thermal conductivity is also observed for "wet" bricks. What is embedded in the generally accepted understanding of the physics of the dependence of thermal conductivity on moisture content in building materials.

Key words: moisture content, brick, thermal conductivity.

Экспериментальное исследование теплопроводности влажных керамических строительных материалов

А.Н. Недбайло¹, А.Г. Чернышин¹, Н.П. Кузьминец²

¹ – Государственное предприятие «Инженерный центр «Сушка»» Института технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина

² - Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Проведены экспериментальные исследования зависимости теплопроводности строительного красного кирпича от его относительной влажности. С целью определения коэффициента теплопроводности строительных материалов в зависимости от степени их увлажненности использовался метод регулярного режима. Показано, что с повышением температуры кирпича и влагосодержания в нем, коэффициент теплопроводности существенно увеличивается. Исследования сначала проводили для "мокрого" кирпича. Затем аналогичный эксперимент проводили для "сухого" кирпича – высушенного и непосредственно вынутого из печи – сушиллки. Внешние условия эксперимента для обоих случаев были одинаковые. Так для "сухого"

кирпича даже в таком небольшом изменении температуры от 6 до 16 °С коэффициент теплопроводности увеличивается в 1,4 раза. Аналогичное увеличение теплопроводности наблюдается и для "мокрого" кирпича.

Введение

Оценка влияния влагосодержания керамических строительных материалов на значение их эффективной теплопроводности в различных условиях эксплуатации является важной инженерной задачей. В связи с этим, экспериментальные исследования теплопроводности могут продемонстрировать натуральное ухудшение теплоизоляционных свойств микропористых керамических строительных материалов.

Материалы и методы исследования

С целью определения коэффициента теплопроводности строительных материалов в зависимости от степени их увлаженности использовался метод регулярного режима. Исследования проводились на лабораторной установке, схема которой представлена на рис. 1. Во время исследования измерялись и автоматически записывались в компьютере послойно измеренные температуры и влагосодержания, а также плотность теплового потока на поверхности материала [1]. За образец был выбран цельный красный кирпич. Для

расширения диапазона измерений влажности для исследований использовались кирпичи, как в мокром, так и в условно сухом состоянии. Высушивание кирпича до сухого состояния проводилось в специальной печи при температуре 105...110 °С на протяжении 8 часов. Мокрый кирпич получали путем его погружения в воду на пять дней.

Образец для определения коэффициента теплопроводности был размещен между двумя камерами – греющей 1 и тепловой 2. Различные термические условия в камерах поддерживались с помощью тепловых агрегатов 7 и электронагревателей расположенных в середине камер 1 и 2. Необходимый температурный режим исследования поддерживался с помощью компьютерной программы. Между греющей 1 и тепловой 2 камерами размещался исследуемый образец 3 типичного цельного красного кирпича, закрепленного пенополиуретановой пеной в пенополистирольной плите толщиной 20 см. Пенополистирольная плита использовалась для термоизоляции камер между собой и для поддержания необходимого температурного режима. Одна из поверхностей кирпича находилась в теплой камере под воздействием температуры 25 °С, а противоположная сторона при - 1,5 °С.

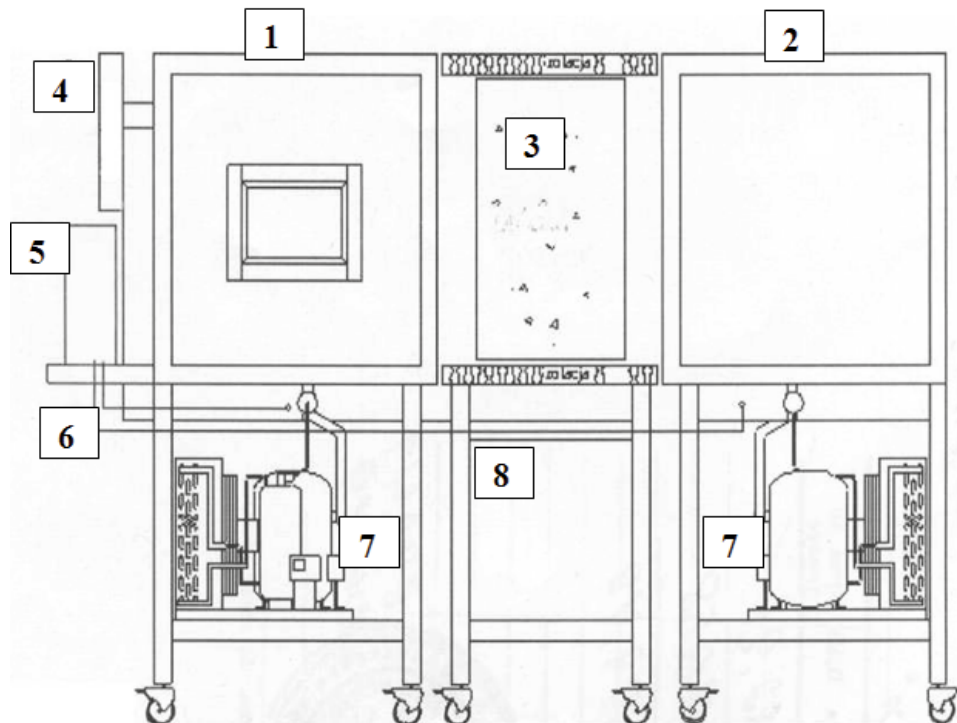


Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования теплопроводности твердых строительных материалов

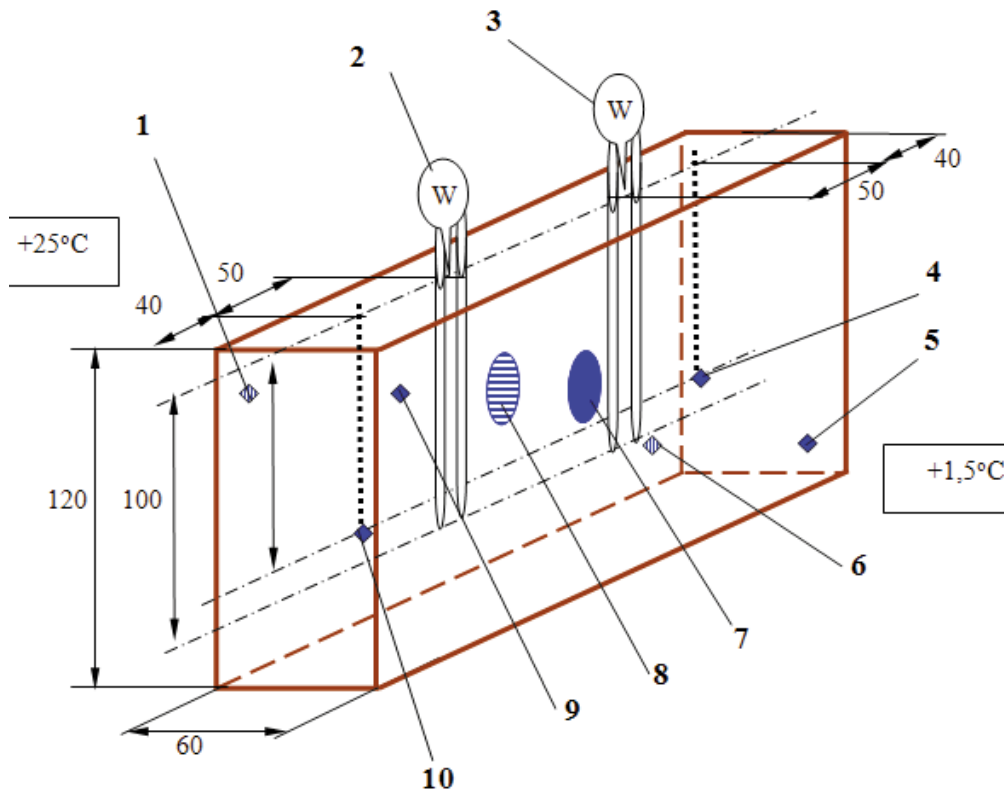


Рис. 2. Схема размещения измерительных датчиков на исследуемом образце

Камеры изготовлены из алюминиевого профиля и ограждены стенкой толщиной 0,1 м, заполненной минеральной ватой, которая имеет коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,035 \text{ Вт/(м·К)}$. Управляющая система 5 состояла из персонального компьютера с операционной системой FreeBSD (UNIX).

Установка включала в себя программу управления холодильно-нагревающей системой, а также измерительными приборами (контактные измерители влажности типа WHT, гигрометры, датчики температуры). Коммутация осуществляется с помощью трех портов, соединенных последовательно (RS – 232) и параллельного порта. Компьютер при помощи сигнальных линий 6 соединяется с оборудованием климатических камер. Холодильно-нагревающий комплекс производства Danfoss имел возможность создавать различные термические условия – 40...50 °С. Стол из алюминиевого профиля 8 имел изменяющуюся геометрию (возможность регулирования ширины), что давало возможность устанавливать и закреплять образцы строительных материалов для исследования теплопереноса в перегородках разной толщины.

Измерение температуры в середине камер производилось при помощи четырех цифровых датчиков температуры DS18B20, по два в каждой.

На рис. 2. приведено расположение измерительных датчиков температуры, влажности и теплового потока. Температура измерялась на поверхности "теплой" стороны с помощью

термопар 1 и 6. Аналогичные измерения проводились на "холодной" стороне с помощью термопар 5 и 9. Плотность теплового потока на поверхности кирпича измерялась с помощью тепломеров (датчиков теплового потока) 7 и 8, специально изготовленных в отделе теплотрии Института технической теплофизики Национальной академии наук Украины (Киев) [2]. Сигналы тепломеров выводились на универсальный измеритель АРРА.

Измерения влагосодержания производились с помощью емкостных датчиков типа WHT 2 и 3. Для размещения датчиков внутри образца высверливалось отверстие на глубину 100 мм по центру образца с расстоянием между щупами 10 мм. Так же проводились измерения температуры в середине кирпича, в котором по краям на расстоянии 40 мм и на глубину 80 мм высверливались отверстия – позиции 4 и 10.

Автоматическая система измерения и управления функционально состоит из трех взаимосвязанных частей:

а) измерительно-опознавательной части, осуществляющей чтение аналоговых сигналов величин (таких, как температура, плотность теплового потока и влагосодержание), сигнализаторов предельных значений и индикаторов положения исполнительных органов и устройств преобразования в цифровую форму;

б) основной части сбора и обработки данных измерений, а также подачи команд на исполнительные механизмы регулирования,

включающей в себя коммутатор, линию связи, компьютер под управлением операционной системы FreeBSD (UNIX) и пульт управления с портом RS-232. Коммутатор осуществлял прием данных от измерительно-опознавательной части, анализ информации и передачу ее в компьютер. Линия связи предназначалась для передачи первичных данных и выработанных команд управления различным элементам системы. Пульт управления позволял оператору наблюдать за процессами нагрева и охлаждения, работой вентиляторов и предоставлять управление путем задачи минимальных и максимальных значений (диапазона) выходных параметров температуры электронагревателя и компрессорной тепловой установки;

в) исполнительной части, реализующей через специальные устройства регулирование механизмами нагрева и охлаждения.

Подобная система управления позволяет поддерживать заданный тепловой режим с высокой точностью, так как она выполнена по замкнутой схеме с использованием обратной связи основных параметров — температуры и влажности воздуха внутри камеры [3].

Учитывая большую инерционность массообменных процессов, исследования проводились на протяжении нескольких дней. Одновременно записывалась влажность материала с помощью двух специально изготовленных зондов типа WHT, расположенных в разных по толщине кирпича точках.

Исследования сначала проводили для "мокрого" кирпича. Затем аналогичный эксперимент проводили для "сухого" кирпича — высушенного и непосредственно вынутого из печи — сушилки. Внешние условия эксперимента для обоих случаев были одинаковые. Температура воздуха в "теплой" камере поддерживалась на уровне 25 °С, а температура в "холодной" камеры имела температуру +1,5 °С. Указанные значения температур соответствовали реальным условиям в тепловых камерах при длительном хранении фруктов. Точность регулирования заданных температур электронагревателя составляла $\pm 1,0$ °С, а тепловой установки составляла $\pm 2,0$ °С. Измеряемые значения температур на обеих поверхностях кирпича и в середине регистрировались независимо для каждой из шести термодатчиков, а затем записывались на диске компьютера с измерительным шагом в 15 минут. Параллельно с измерением температуры при помощи компьютерной программы в отдельные файлы проводилась регистрация влажности кирпича в двух точках. Полученные и измеренные значения температур, плотности теплового потока и влажности были сведены в таблицы с помощью программы MS Excel.

Необходимо иметь в виду, что с ростом влагосодержания растет теплопроводность и ухудшаются теплоизоляционные свойства строительных материалов. Объясняется это тем, что поры кирпича вместо воздуха заполняются водяным паром и водой, что приводит к увеличению теплопроводности. Этот процесс в разных материалах происходит по-разному. Это зависит от структуры и свойств материала. Например, в пористых бетонах принимается, что прирост коэффициента теплопроводности составляет около 4,5% на 1% прироста влаги.

Предварительно подготовленные образцы кирпича помещались между "теплой" и "холодной" камерами, где поддерживались постоянные температуры. Продолжительность опыта составляла 72 часа. Поэтому при размещении "сухого" образца он поглощал влагу из окружающей среды и к концу опыта влагосодержание его достигало 7...8 %.

Мокрый образец наоборот, в течении опыта отдавал влагу и его влагосодержание уменьшалось с 15–16 % до 7–8 %.

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента теплопроводности от влажности образца при температуре в центре 12 °С. Как видно из графика с ростом влагосодержания коэффициент теплопроводности увеличивается. Так на первом участке, в области моно- и полиадсорбционной связи влаги (примерно до $u = 6\%$) наблюдается незначительный рост значений λ . Это говорит о том, что влага этих форм связи прочно связана с твердым основанием и в теплопереносе играет незначительную роль.

Дополнительное влияние на процесс теплопроводности имеет диффузия водяного пара, которая увеличивает перенос теплоты. С увеличением влагосодержания от 6 до 11...12% наблюдается резкий рост значений коэффициента теплопроводности. Это можно объяснить появлением капиллярной конденсации и вытеснением воздуха водой из микрокапилляров. Как известно, у воды коэффициент теплопроводности при данной температуре около 0,60 Вт/(м·К), т.е. приблизительно в 20 раз больше коэффициента теплопроводности воздуха, что приводит к увеличению значений λ кирпича.

При дальнейшем росте влагосодержания $u > 12\%$ наступает влажное состояние, влага заполняет микрокапилляры, что приводит к дальнейшему увеличению теплопроводности за счет капиллярного перемещения влаги. Таким образом, при изменении влагосодержания от $u = 3\%$ до $u = 14\%$ коэффициент теплопроводности увеличивается в 2,6 раза.

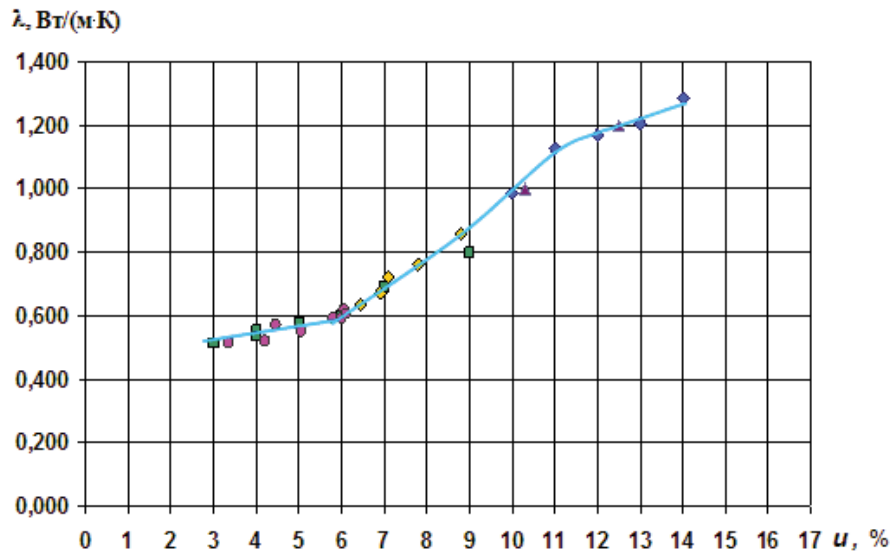


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности при температуре в центре кирпича $t_{ц} = 12\text{ °C}$

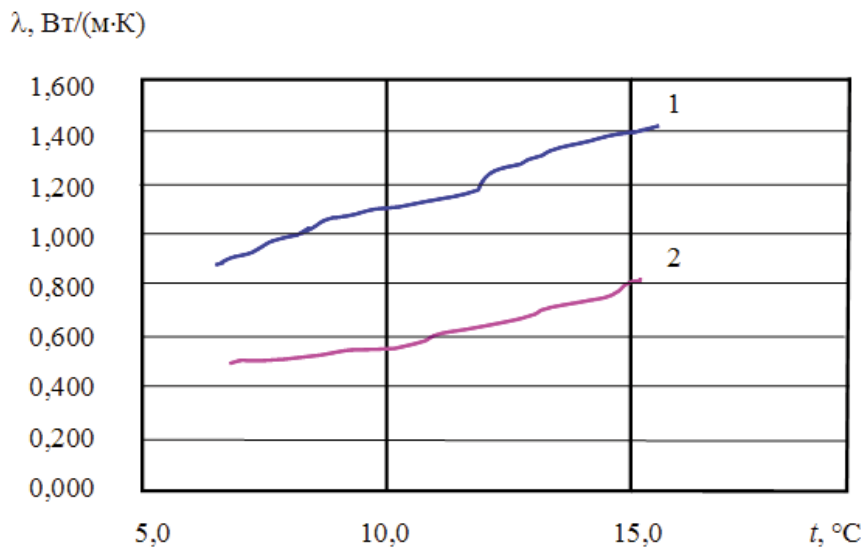


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры цельного красного кирпича: "мокрый" (1) и "сухой" (2)

На рис. 4 приведена зависимость коэффициента теплопроводности от температуры для "мокрого" и "сухого" кирпича.

Выводы

Очевидно, что с ростом температуры теплопроводность увеличивается. Так, для "сухого" кирпича даже в таком небольшом диапазоне изменения температуры от 6 до 16 °C коэффициент теплопроводности увеличивается в 1,4 раза. Аналогичное увеличение теплопроводности наблюдается и для "мокрого" кирпича, что укладывается в общепринятые представления о физике зависимости теплопроводности от влагосодержания в строительных материалах.

References

1. Janczarek M. Przewodność cieplna zewnętrznych ścian budynków w aspekcie wilgotności i oszczędności energii" / M. Janczarek, P. Skalski, A. Bulyandra, H. Sobczuk // Rynek Energii, 4 (65). - 2006. - P. 34 – 39.
2. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98) Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические общего назначения. Общие технические условия / Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробьев Л.И. – Киев: Госстандарт Украины, – 2000. – 21 с.
3. Skalski P. Use the fuzzy-logic regulators with utilization the PLC programmers to automatic stabilization of physical sizes.- Ceepus Summer School 2005 INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS, Brno University of Technology – Czech Republic – 2005.