

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.973.2:666.972.1

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СОЛОМЕННЫХ И КОСТРОСОЛОМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.В. ДАВЫДЕНКО, канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Установлено влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности и плотность теплоизоляционных материалов на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства. Приведено описание методики определения коэффициента теплопроводности и плотности в зависимости от показателя влажности материала. Представлены графики изменения плотности, коэффициента теплопроводности от влажности теплоизоляционных материалов. Определены коэффициенты изменения теплопроводности материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна при различных значениях влажности материалов. Получена эмпирическая зависимость, позволяющая описать влияние показателя влажности материала на кинетику изменения коэффициента теплопроводности для соломенных и костросоломенных теплоизоляционных плит.

Введение. Основной функцией наружных ограждений является защита помещений здания от атмосферных воздействий. Ограждающие конструкции не только защищают, воспринимают нагрузку, но и регулируют воздушный, влажностный режимы помещений. Наружные ограждения обладают воздухопроницаемостью, сорбирующими свойствами и способностью передавать влагу. Повышение влажности материала ограждения приводит к потере его теплозащитных свойств и снижению долговечности.

Главной составляющей процесса передачи теплоты через ограждение является теплопроводность слоев материала по толщине конструкции [1]. На значение коэффициента теплопроводности существенное влияние оказывают состав, структура и тепловлажностное состояние материала.

Во влажном материале передача теплоты осуществляется несколькими путями. Через твердый скелет, а также пленки жидкой влаги теплота передается посредством теплопроводности. В порах, заполненных влажным воздухом, помимо теплопроводности, теплообмен происходит конвекцией и излучением. При влагообмене теплота может переноситься жидкой и парообразной влагой, а также в результате фазовых превращений. Определенное количество теплоты переносится проходящим при фильтрации через материал воздухом [2].

Всю совокупность сложных процессов, участвующих в передаче теплоты в толще материалов, обычно приводят к теплопроводности. Коэффициент теплопроводности строительного материала учитывает все физические явления, происходящие в материале и связанные с передачей теплоты.

С увеличением показателя влажности материала коэффициент теплопроводности возрастает. Увеличение коэффициента обусловлено замещением воздуха в порах жидкой влагой, имеющей более высокий коэффициент теплопроводности. На стыках между частицами материала пленки воды создают «водяные манжеты», которые увеличивают площадь контакта между частицами и способствуют теплообмену между ними [3].

Влага, поглощенная строительным материалом, удерживается силами взаимодействия молекул воды с молекулами материала на поверхности его твердой части и силами поверхностного натяжения воды. Наиболее прочно удерживается в материале влага, содержащаяся в нем в малых количествах. В сильно увлажненном материале влага слабо связана и сравнительно легко перемещается. В наружных ограждениях влажность материала изменяется во времени. В начальный момент это связано с внесением в конструкцию «строительной влаги». В процессе эксплуатации материалы стен и перекрытий переходят в установившийся влажностный режим. Влажность материала в этот период зависит от положения материала в конструкции, внутренних условий в помещениях здания и климата района застройки. Перенос влаги через ограждение происходит вследствие разности влажностей и температур внутреннего и наружного воздуха, а также воздухопроницаемости конструкций [4]. В процессе влагопередачи отдельные слои ограждения переувлажняются. Это приводит к заметному снижению его теплозащитных свойств. Таким образом, при расчете передачи теплоты через наружные ограждения вопрос о влажностном состоянии материалов в конструкциях является одним из основных.

Основная часть. В литературных источниках [5; 6] приведены эмпирические формулы зависимости коэффициента теплопроводности от влажности для отдельных теплоизоляционных материалов. Например, для определения коэффициента теплопроводности влажного пеноизола в исследованиях Т.И. Рубашкиной [3] приводится зависимость

$$\lambda_w = \lambda \cdot (1 + k \cdot W), \quad (1)$$

где λ – теплопроводность сухого материала, Вт/(м·°С); W – весовая влажность материала (влагосодержание), %; k – коэффициент переменной, который определяется для каждого теплоизоляционного материала экспериментальным путем.

В нормативных документах не приводится стандартная методика для определения зависимости коэффициента теплопроводности от показателя влажности материала. В проводимых нами исследованиях на базе лаборатории кафедры строительного производства за основу принята методика, предложенная Т.И. Рубашкиной [7], и получена зависимость коэффициента теплопроводности от влажности для теплоизоляционных плит на основе соломы и смеси соломы с кострой льна по аналогии с зависимостью (1).

Для проведения эксперимента изготавливались образцы теплоизоляционных материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна в виде плит размером 250×250×30 мм. Для высушенных образцов определяли значения массы, плотности и коэффициентов теплопроводности. Исследования теплопроводности проводили на приборе ИТП-МГ4 «250» в соответствии с требованиями СТБ 1618 [8]. В сухом состоянии масса теплоизоляционных плит составила 382 г, плотность – 230 кг/м³. При этом значения коэффициентов теплопроводности образцов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна равны 0,056 Вт/(м·°С) и 0,047 Вт/(м·°С) соответственно. Далее каждый образец помещали в индивидуальную герметичную камеру с предварительно залитой водой (рис. 1).

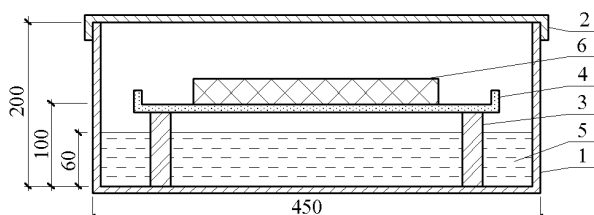


Рис. 1. Схема камеры для увлажнения теплоизоляционных образцов:

1 – полиэтиленовая емкость; 2 – герметичная крышка; 3 – металлические стойки из нержавеющей стали; 4 – металлическая сетка из нержавеющей стали; 5 – вода; 6 – испытываемый образец

Образцы теплоизоляционных материалов выдерживали над водой в течение 2, 3, 5, 10 и 25 суток (48, 72, 120, 240 и 600 часов), затем определяли массу, плотность и коэффициент теплопроводности. Выбранные временные интервалы отражают наиболее характерные показатели изменения влажности и коэффициентов теплопроводности исследуемых материалов.

Результаты лабораторных испытаний приведены в таблице.

Показатели влажности, массы, плотности и теплопроводности теплоизоляционных материалов

№ образца	Время выдерживания образца в камере, сутки (часы)	Показатели влажного образца				Коэффициент изменения теплопроводности образца
		масса, г	плотность, кг/м ³	влажность, %	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	
Теплоизоляционный материал на основе соломы						
1	2 (48)	421	252	10,3	0,064	1,143
2	3 (72)	434	260	13,5	0,067	1,196
3	5 (120)	452	271	18,2	0,073	1,304
4	10 (240)	497	298	30,2	0,089	1,589
5	25 (600)	588	352	54	0,119	2,125
Теплоизоляционный материал на основе смеси соломы с кострой льна						
1	2 (48)	416	249	8,9	0,051	1,085
2	3 (72)	421	252	10,1	0,053	1,128
3	5 (120)	442	265	15,7	0,057	1,213
4	10 (240)	481	288	25,8	0,068	1,447
5	25 (600)	529	317	38,6	0,084	1,787

Из экспериментальных исследований (табл. 1) следует, что показатель влажности образцов на основе соломы через двое суток составляет 10,3 %, что на 15 % больше значения влажности материала на основе смеси соломы с кострой льна, равного 8,9 %. Через 24 часа влажность материала на основе соломы увеличивается на 31 % и достигает 13,5 %; показатель материала на основе смеси соломы и костры льна возрастает всего на 13 %, до значения 10,1 %. Материал на основе соломы за первые трое суток оказался более насыщен влагой из-за значительной пустотности в соломенном каркасе, способствующей проникновению влажного воздуха в структуру плиты. Менее интенсивный прирост влажности образцов из смеси соломы с кострой льна объясняется более плотной структурой, твердый скелет которой имеет меньшее количество пустот, притом небольших размеров. Такая структура существенно препятствует свободному перемещению влажного воздуха внутри материала.

После 5 суток выдерживания прирост показателя влажности составил для образцов на основе соломы 4,7 %, а на образцах из смеси соломы с кострой льна – 5,6 %.

В последующие пять суток происходит постепенное увеличение показателя влажности для обоих материалов. Величина влажности материала на основе соломы через десять суток достигла 30,2 % и на 17 % превысила показатель влажности материала на основе смеси соломы и костры льна, равный 25,8 %.

Изменение значения влажности за вторые 120 часов составил 12 % для материала на основе соломы, что на 34 % меньше по сравнению с изменением показателя этого же материала за первые 120 часов. Для материала на основе смеси соломы с кострой льна изменение влажности за тот же промежуток времени исчислялось величиной, равной 10,1 %, что на 37 % меньше, чем изменение показателя за первые 120 часов.

Таким образом, увеличение показателя влажности за первые пять суток происходит интенсивнее, чем во вторые пять суток, для обоих теплоизоляционных материалов.

Сравнение показателей влажности материалов через 25 суток позволяет установить, что влажность материала на основе соломы достаточно интенсивно увеличивается и превышает значение влажности материала на основе смеси соломы с кострой льна на 40 %.

По результатам эксперимента (табл. 1) построены зависимости изменения плотности от влажности теплоизоляционных материалов (рис. 2, 3).

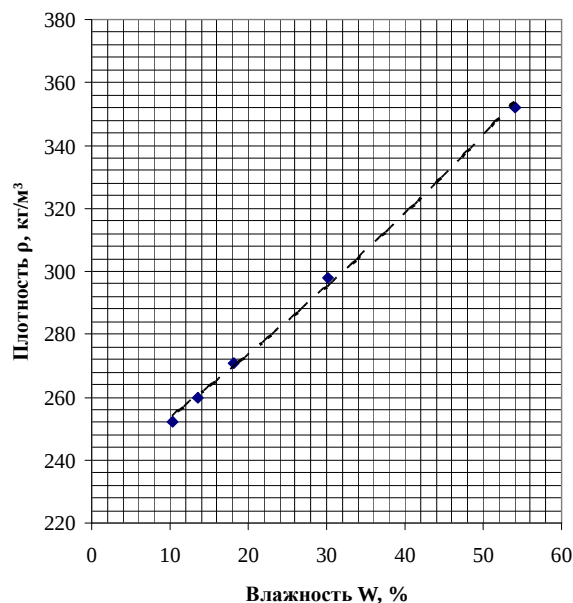


Рис. 2. Зависимость плотности материала на основе соломы от влажности

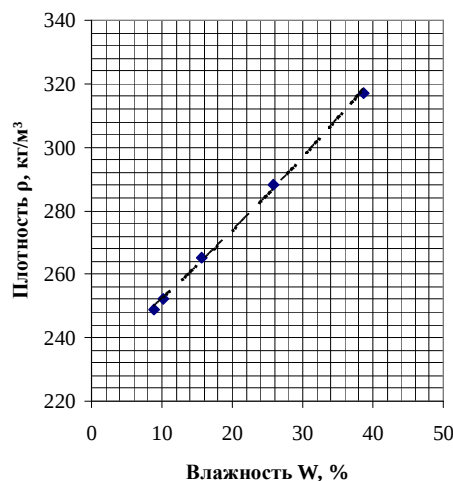


Рис. 3. Зависимость плотности материала на основе смеси соломы с кострой льна от влажности

Из анализа полученных графических зависимостей следует, что с увеличением влажности материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна увеличивается их плотность. Так, для материала на основе соломы изменение величины плотности за двое суток составило 22 кг/м^3 при влажности материала 10,3 %, а для материала на основе смеси соломы и костры льна за тот же промежуток времени показатель плотности увеличился на 19 кг/м^3 при значении влажности 8,9 %.

Через трое суток плотность материалов увеличилась на 30 и 22 кг/м^3 для материала на основе соломы и смеси соломы с кострой льна при значениях влажности 13,5 и 10,1 % соответственно.

После пяти суток испытаний показатель плотности материала на основе соломы увеличился на 41 кг/м^3 и составил 271 кг/м^3 при влажности $18,2 \%$. Для материала на основе смеси соломы с кострой льна изменение плотности составило 35 кг/м^3 при влажности $15,7 \%$.

Для материала на основе соломы через 10 суток плотность возросла на 68 кг/м^3 до величины 298 кг/м^3 при влажности $30,2 \%$. За аналогичный период времени плотность материала на основе смеси соломы с кострой льна изменяется на 58 кг/м^3 до значения 288 кг/м^3 при влажности $25,8 \%$. После 10 суток выдерживания плит в камерах разница показателей плотностей составила 10 кг/м^3 .

Испытания после 25 суток выдерживания образцов показали, что при значениях влажности материала на основе соломы и смеси соломы с кострой льна, равных 54 и $38,6 \%$, увеличение плотности материала происходит на 122 и 87 кг/м^3 до значений 352 и 317 кг/м^3 соответственно. Таким образом, плотность материала на основе соломы увеличилась на 53% , а материала на основе смеси соломы с кострой льна – на 38% .

Зависимости коэффициента изменения теплопроводности от показателя влажности образцов теплоизоляционного материала на основе соломы и смеси соломы с кострой льна представлены на рисунках 4 и 5.

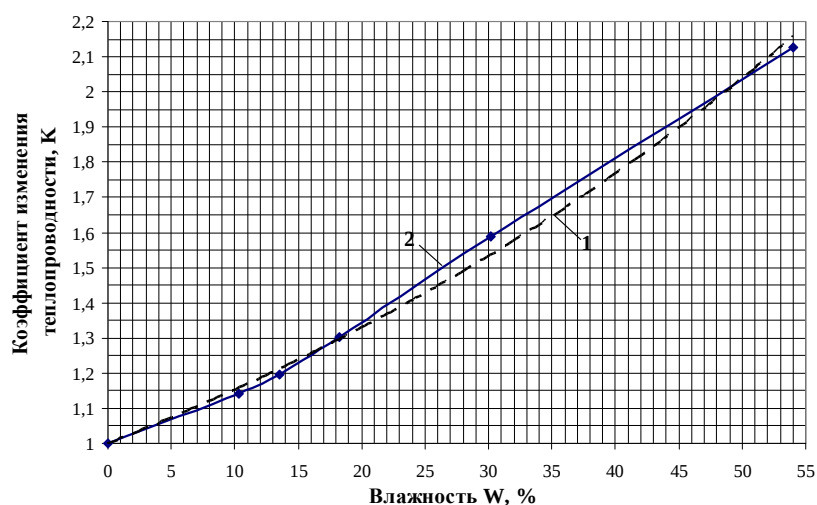


Рис. 4. Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от показателя влажности теплоизоляционного материала на основе соломы:
1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая

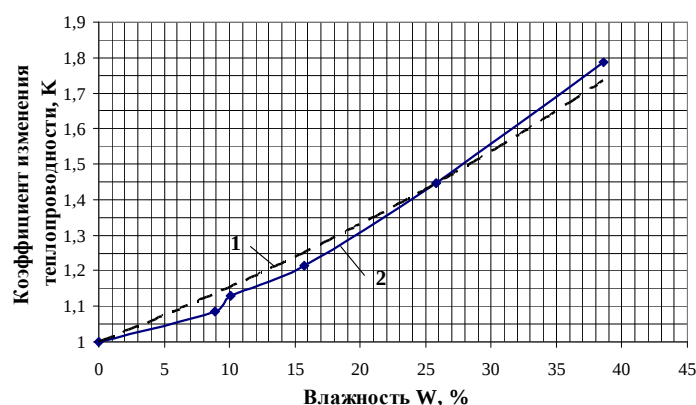


Рис. 5. Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от показателя влажности теплоизоляционного материала на основе смеси соломы с кострой льна:
1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая

Анализ экспериментальных данных, включая графики (см. рис. 4, 5), позволил установить, что зависимость коэффициента изменения теплопроводности материала на основе соломы, K , от изменения его влажности, W , достаточно точно аппроксимируется экспоненциальной функцией вида $K = e^{0,0142W}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,9953$. Для теплоизоляционного материала на основе смеси соломы и костры льна зависимость коэффициента изменения теплопроводности, K , от изменения его влажности, W , также аппроксимируется экспоненциальной функцией $K = e^{0,0143W}$ при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,9806$.

Основываясь на полученных результатах исследований, зависимость коэффициента теплопроводности от изменения показателя влажности теплоизоляционных материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна можно представить в виде выражений (2) и (3) соответственно.

$$\lambda_w = \lambda_0 \cdot e^{0,0142 \cdot W}, \quad (2)$$

$$\lambda_w = \lambda_0 \cdot e^{0,0143 \cdot W}, \quad (3)$$

где λ_w – коэффициент теплопроводности материала при данной влажности, Вт/(м·°C); λ_0 – коэффициент теплопроводности сухого материала, Вт/(м·°C); W – влажность материала, %

Используя выражения (2) и (3), получены зависимости коэффициента теплопроводности материала на основе соломы (кривая 1) и материала на основе смеси соломы и костры льна (кривая 2) от заданных значений влажности (рис. 6).

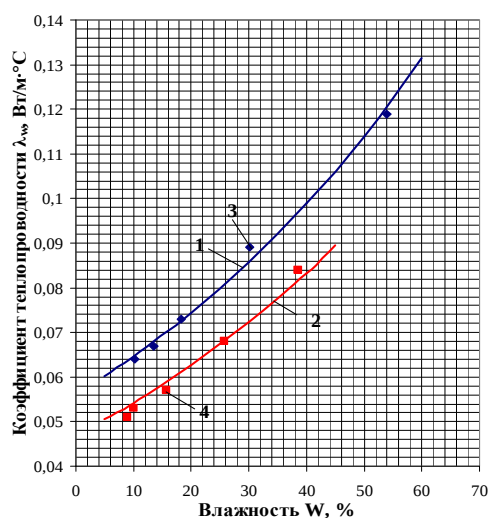


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности теплоизоляционных материалов:
1 – эмпирическая зависимость для образцов на основе соломы; 2 – эмпирическая зависимость для образцов на основе смеси соломы с кострой льна; 3 – экспериментальные данные для образцов на основе соломы;
4 – экспериментальные данные для образцов на основе смеси соломы с кострой льна

При аппроксимации полученных результатов исследований выведена эмпирическая зависимость коэффициента теплопроводности рассматриваемых теплоизоляционных материалов от показателя влажности общего вида:

$$\lambda_w = \lambda \cdot e^{k \cdot W}, \quad (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности сухого материала, Вт/(м·°C); W – влажность материала, %; k – коэффициент переменной (для материала на основе соломы $k = 0,0142$, а для материала на основе соломы и костры льна $k = 0,0143$).

Из анализа экспериментальных данных (см. таблицу) следует, что за двое суток испытаний коэффициент теплопроводности материала на основе соломы увеличился на 14,3 % при показателе влажности 10,3 %. За такой же промежуток времени при влажности образцов 7,8 % значение коэффициента теплопроводности материала на основе смеси соломы с кострой льна возросло на 8,5 %. Через трое суток при разнице показателей влажности материалов в 3,4 % величина коэффициента теплопроводности образцов на основе соломы составила 0,067 Вт/(м·°C), что больше значения коэффициента теплопроводности материала на основе смеси соломы с кострой льна равного 0,053 Вт/(м·°C) на 26 %.

Для теплоизоляционного материала на основе соломы через пять суток коэффициент теплопроводности возрастает на 30,4 % при показателе влажности 18,2 %. Теплопроводность образцов на основе смеси соломы с кострой льна за аналогичный интервал времени при значении влажности 15,7 % зафиксирована на показателе 0,057 Вт/(м·°C), что на 21 % больше величины теплопроводности сухого материала.

Изменение показателя коэффициента теплопроводности материала на основе соломы через десять суток составляет 59 %, а материала на основе смеси соломы с кострой льна – 45 %. После 25 суток вы-

держивания образцов в герметичной камере значения коэффициентов теплопроводности образцов на основе соломы увеличилось в 2,1 раза, а материала на основе смеси соломы с кострой льна в 1,8 раза и составили 0,119 и 0,084 Вт/(м·°С) при показателях влажности 54 и 38,6 % соответственно. На начало проведения испытаний величина коэффициента теплопроводности сухого материала на основе соломы на 19 % больше значения теплопроводности образцов на основе смеси соломы с кострой льна. По окончании эксперимента превышение показателя коэффициента теплопроводности плит на основе соломы составило 40 % по сравнению со значениями образцов из смеси соломы с кострой льна.

Выводы. Проведенные исследования подтверждают предположение о существенном влиянии структуры, в частности пустотности, на показатель влажности материала. Полученные образцы с более низкой пустотностью на основе смеси соломы с кострой льна позволили снизить влажность теплоизоляционного материала на 40 %.

Из результатов анализа экспериментальных данных, включая построенные графические зависимости, следует, что изменение показателя влажности оказывает существенное влияние на основные физические характеристики теплоизоляционных плит на основе соломы и смеси соломы с кострой льна. Рост показателя влажности теплоизоляционных плит приводит к повышению плотности образцов на 38...53 %, коэффициента теплопроводности в 1,8...2,1 раза. При этом увеличение плотности плит из смеси соломы с кострой льна на 29 % меньше прироста показателя образцов из соломы. Коэффициент теплопроводности образцов из смеси соломы с кострой льна после насыщения влагой в течение 25 суток на 30 % ниже показателя испытываемых плит из соломы.

Полученная эмпирическая зависимость позволяет достаточно точно прогнозировать значение коэффициента теплопроводности, обусловленное показателем влажности материала для соломенных и костросоломенных плит. Зависимость (4) будет применяться при теоретических расчетах теплофизических параметров ограждений, а также при прогнозировании теплофизических характеристик ограждающих конструкций с применением теплоизоляционных плит на основе соломы и смеси соломы с кострой льна в условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.
2. Ушков, Ф.В. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха / Ф.В. Ушков. – М.: Стройиздат, 1969. – 144 с.
3. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика: учебник для вузов / В.Н. Богословский. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
4. Ушков, Ф.В. Метод расчета увлажнения ограждающих частей здания / Ф.В. Ушков. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1955. – 104 с.
5. Васильев, Л.Л. Теплофизические свойства пористых материалов / Л.Л. Васильев, С.А. Танаева. – Минск: Наука и техника, 1971. – 265 с.
6. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / К.Ф. Фокин. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
7. Рубашкина, Т.И. Исследование эффективности современных утеплителей в многослойных ограждающих конструкциях зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Т.И. Рубашкина. – Чита, 2009. – 152 с.
8. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме: СТБ 1618-2006. – Введ. 24.03.2006. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 9 с.

Поступила 12.06.2013

INFLUENCE OF THE INDICATOR OF HUMIDITY ON COEFFICIENT OF HEAT CONDUCTIVITY OF STRAW AND BOON- STRAW HEAT-INSULATING MATERIALS

N. DAVYDENKO, A. BAKATOVICH

The influence of the indicator of humidity on coefficient of heat conductivity and density of heat-insulating materials on the basis of a vegetative waste from agricultural production is established. The description of a technique of definition of coefficient of heat conductivity and density depending on an indicator of humidity of a material is performed. Density – humidity curve, coefficient of heat conductivity – humidity curve for heat-insulating materials are presented. Coefficients of heat conductivity of materials on the basis of straw and straw- flax boon mix are defined at various values of materials humidity. Empirical dependence allowing to describe an influence of humidity indicator of a material on kinetics of heat conductivity coefficient changing is obtained for straw and boon-straw heat-insulating slabs.