

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛОВАТНОЙ ПЛИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННОЙ КОНЦЕПЦИИ

Возможности минераловатной плиты зарекомендовали себя крайне удачными в вопросах тепло- и звукоизоляции. Минеральная вата обладает высоким сопротивлением к теплопередаче, негорючестью, химической и биологической пассивностью, экологичностью и легкостью монтажа при отсутствии гигроскопичности и усадки. При этом к основному минусу необходимо отнести высокое водопоглощение, препятствующее к использованию в местах повышенной влажности, а также вынуждающее применять гидрофобную защиту [1]. Ввиду широкого распространения данного материала изучение эксплуатационных характеристик минераловатной плиты при различных воздействиях является актуальной задачей. В качестве объектов исследования были взяты образцы минераловатных плит марки Изоруф-Н и Изоруф-В.

Известно, что на скорость водопоглощения влияет несколько факторов, а именно структура самого материала, окружающая температура и характеристики жидкой среды. Чтобы появилась возможность прогнозировать скорость набухания (водопоглощения) в зависимости от окружающей температуры, появляется необходимость выявить такие величины, которые будут постоянны и не зависеть от температуры.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора, научного руководителя кафедрой «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «ГГТУ» В. П. Янцева.

Такими величинами можно считать предэкспоненциальный множитель и энергию активации, входящие в уравнение Аррениуса [2]:

$$w = w_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

где w – скорость набухания, [%/с]; w_0 – предэкспоненциальный множитель, [%/с]; E – энергия активации (набухания или разбухания), [кДж/моль]; R – универсальная газовая постоянная, [кДж/(моль×К)]; T – температура, [К].

Результаты исследований на набухание показали, что степень набухания минераловатной плиты растет в течение времени. Увеличение температуры воды вызывает ускорение этого процесса. Эксперименты на водопоглощение показали, что наиболее сильно процесс водопоглощения протекает в течение 60 мин, после чего он замедляется и наступает стабилизация. При повышенных температурах процесс водопоглощения протекает более равномерно, но при увеличении температуры (с 20 до 60 °С) водопоглощение увеличивается в три раза. Константы w_0 и E определялись в ходе графоаналитического дифференцирования экспериментальных данных. Константы позволяют рассчитать скорость водопоглощения при заданной температуре эксплуатации и прогнозировать ее в широком диапазоне температур. Значения физических констант приведены в табл. 1.

Также проведены исследования на влияние нагрева на геометрические размеры. Исследования образцов минераловатных плит проводились в линейном dilatометре. Испытания проводились при постоянной скорости нагрева 1,65 °С/мин. Результаты эксперимента показали, что на начальном этапе нагревания практически не происходит изменение размеров образцов минераловатных плит до достижения температуры в 35...40 °С, когда эти изменения становятся заметными. Для испытываемой минераловатной плиты Изоруф-Н коэффициент термического расширения составляет $0,98 \times 10^{-6}$ (1/°С). Для Изоруф-В составляет $1,01 \times 10^{-6}$ (1/°С).

1. Значения физических констант при водопоглощении минераловатных плит Изоруф-Н и Изоруф-В

Материал	E , кДж/моль	$\lg w_0$	$\lg w$ [%/с] при $T = 40$ °С
Изоруф-Н	21,25	2,0	-1,4
Изоруф-В	26,06	3,0	-1,5

Для изучения изменения теплопроводности минераловатных плит после теплового старения, УФ-облучения и циклов замораживания и оттаивания были проведены исследования. Результаты показали, что теплопроводность минераловатных плит снижается в результате любого вида старения, т.е. незначительно ухудшается. Это объясняется нарушением структуры материала, уменьшением количества влаги, находящейся в материале при тепловом старении, расслоением минераловатной плиты при замораживании и оттаивании. Изучено изменение теплопроводности минераловатной плиты при воздействии на нее сжимающих усилий. Зависимости теплопроводности от относительной деформации показали увеличение теплопроводности материала с ростом усилия сжатия. Это происходит за счет увеличения плотности материала и уменьшения объема пустот между волокнами (снижения доли воздуха). Выявлена зависимость влияния замачивания на теплопроводность минераловатных плит. Установлено, что с увеличением количества воды в материале наблюдается повышение теплопроводности, что объясняется заполнением пустот и повышением плотности материала.

Рассмотрение долговечности минераловатной плиты производилось с применением термофлуктуационной концепции. Концепция рассматривает разрушение как не мгновенное явление, а происходящее и развивающееся во времени. Эксперименты проводились при трех видах температур 20, 40 и 60 °С. Исследовано три вида воздействия, а именно поперечный изгиб, сжатие и пенетрация. Финальным результатом экспериментов являются термофлуктуационные константы (приведенные в табл. 2 – 4), которые позволяют оценить долговечность, длительную прочность, термостойкость и скорость деформирования минераловатной плиты при различных эксплуатационных обстоятельствах. Классическим видом данной зависимости является «прямой пучок», который описывается уравнением

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right], \quad (2)$$

где τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов), [с]; U_0 – максимальная энергия активации разрушения, [кДж/моль]; γ – структурно-механическая константа, [кДж/(моль·МПа)]; T_m – предельная температура существования твердого тела (температура разложения), [К]; R – универсальная газовая постоянная, [кДж/(моль·К)]; τ – время до разрушения (долговечность), [с]; σ – напряжение, [МПа]; T – температура, [К].

2. Значения физических констант при поперечном изгибе

Марка минераловатной плиты	Интервал температур, °С	Интервал напряжений, МПа	Физические константы			
			τ_m , с	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(МПа×моль)
Изоруф-Н	20...60	0,16...0,20	$10^{0,3}$	588	223	1051
Изоруф-В	20...60	0,23...0,29	$10^{-0,3}$	625	155	500

3. Значения констант при деформировании сжатием минераловатных плит

Марка минераловатной плиты	$\lg v_{m(l)}$ ($\lg v^*$), [%/с]	$T_{m(l)}$, К	$U_{0(l)}$ (U), кДж/моль	$\gamma_{(l)}$, кДж/(моль×МПа)
Изоруф-Н	-2,6	370	48	640
Изоруф-В	-2,2	714	28	320

4. Значения констант при деформировании пенетрацией минераловатных плит

Марка минераловатной плиты	U_0 кДж/моль	β
Изоруф-Н	103	80
Изоруф-В	81	68

Стоит отметить, что зависимости логарифма скорости деформирования от обратной температуры получились стандартными только для воздействия поперечным изгибом. При воздействии сжатия получился «обратный пучок», а при воздействии пенетрацией получились параллельные прямые. Такое поведение материала можно объяснить его неравномерной структурой. Значение τ_m получилось значительно больше периода колебаний атомов в твердом теле ($10...12$ с), что так можно связать со сложной структурой материала. Значение T_m схоже со значением температуры разложения синтетического связующего. Значение U_0 схоже с энергией активации разрушения силикатов. Значение γ отражает неравномерность распределения нагрузки в волокнистой структуре минераловатной плиты.

Список литературы

1. Барабанщиков, Ю. Г. Строительные материалы и изделия : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. Г. Барабанщиков. – 5-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2014. – 416 с.
2. Дорофеев, А. М. Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит / А. М. Дорофеев, В. П. Ярцев // Кровельные и изоляционные материалы. – 2010. – № 4(34). – С. 14 – 16.

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*