

## **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ДЛИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ**

**В. П. Ярцев, А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор П. В. Монастырев*

**Ключевые слова и фразы:** вентилируемый фасад; водопоглощение; долговечность; минераловатная плита; старение; теплопроводность; циклы замораживания-оттаивания.

**Аннотация:** Проведен анализ работ, посвященных изучению влияния циклического замораживания-оттаивания на коэффициент теплопроводности, линейные размеры и потерю массы минераловатных плит разной плотности. Исследовано влияние геометрических параметров вентилируемого фасада на изменение термического сопротивления минваты. Отмечено увеличение теплопроводности плит с ростом относительной деформации и снижении ее в результате любого вида старения. Приведены результаты изучения термоактивационных закономерностей разрушения, деформирования и водопоглощения минераловатных плит.

В последнее десятилетие большое внимание уделяется энергоэффективности в строительстве. Одно из направлений решения проблемы энергосбережения при эксплуатации зданий и сооружений – применение дополнительного утепления. В качестве утеплителя в основном используются пенопласты и минераловатные плиты.

Ведущее положение минеральной ваты среди теплоизоляционных материалов обусловлено неограниченностью сырьевых запасов, простотой производства, негорючестью, хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами (коэффициент теплопроводности 0,036...0,038 Вт/(м·°С)), малой гигроскопичностью, возможностью изоляции поверхностей с тем-

---

Ярцев Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: jarcev21@rambler.ru; Мамонтов Александр Александрович – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; Мамонтов Семен Александрович – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ТамбГТУ, г. Тамбов.

пературой  $-200...+600$  °С. Однако применение минеральной ваты затруднено присущими ей специфическими недостатками. При перевозках и хранения вата уплотняется и комкуется, часть волокон ломается и превращается в пыль; ввиду низкой прочности вата в конструкциях должна быть защищена от механических воздействий; наличие летучих компонентов органических веществ (пары углеводородов), входящих в рецептуру, требует соблюдения определенных правил безопасности при работе с ватой. Перечисленные недостатки рыхлой минеральной ваты частично устраняются при переработке ее в минераловатные плиты – изделия, отформованные при давлении и температуре из смеси волокон минеральной ваты с синтетическим связующим.

В процессе эксплуатации минераловатные плиты в конструкциях стеновых ограждений подвергаются сложному комплексу воздействий: замораживанию-оттаиванию, увлажнению-высушиванию, длительному действию отрицательных или положительных температур, нагрузок и агрессивных сред и т.д.

Известно, что наиболее тяжелым воздействием для материалов является циклическое замораживание-оттаивание, так как оно вызывает интенсивное развитие деструктивных процессов в материалах, способных удерживать влагу [1].

Одним из основных критериев эксплуатационной стойкости минераловатных плит является сохранность во времени коэффициента теплопроводности. Данный показатель может изменяться в зависимости от многих факторов, воздействующих на теплоизоляционный материал. В первую очередь он зависит от циклического воздействия температуры и влаги. В связи с этим проведено экспериментальное исследование изменения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С) образцов минераловатных плит ЗАО «Изорок» с плотностью 74 и 156 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания (0; 9; 21; 30; 43; 54 и 75 циклов) и различных скоростей воздушного потока, фильтрующегося через образец [1].

Образцы минераловатных плит размером 100×140×50 мм выдерживали в течение 15 мин в среде водяных паров при температуре  $(98\pm 2)$  °С и влажности  $(98\pm 2)$  % в климатической камере. Затем их замораживали при температуре  $(-28\pm 2)$  °С в течение 5 ч, и столько же оттаивали при температуре  $(20\pm 2)$  °С и влажности  $(55\pm 5)$  %. Оттаявшие образцы высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы. Далее цикл испытаний повторяли. В среднем длительность каждого цикла испытаний составляла 12 ч, а в каждом цикле испытаний наблюдалось два перехода через ноль.

В работе [1] коэффициент теплопроводности  $\lambda$  определяли с помощью измерительного комплекса «Термоанализатор», используемого для неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов. Для измерений коэффициента теплопроводности в условиях фильтрации воздуха через образец сконструировали и изготовили установку, позволяющую моделировать обдувание образца воздушным потоком с разной скоростью.

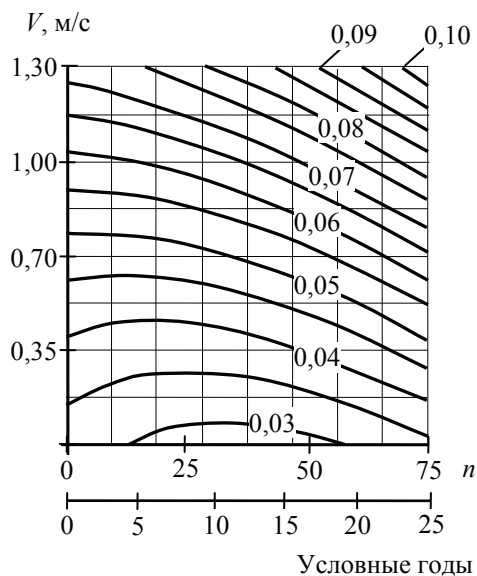
Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рис. 1.

Проведенные в работе [1] исследования показали, что циклическое воздействие температуры и влаги приводит к развитию трещин и микродефектов в волокне, а также к возникновению внутренних напряжений в каркасе материала преимущественно в местах сосредоточения групп волокон на границах раздела фаз волокно-связующее, что вызывает ослабление связей между связующим и волокном, нарушение структуры изделия и постепенное его разрушение. При этом, чем больше плотность минераловатных плит, тем слабее влияние циклов замораживания-оттаивания и скорости фильтрации воздуха в утеплителе на изменение его коэффициента теплопроводности.

Установлено, что в реальных условиях эксплуатации минераловатных плит в вентилируемых конструкциях стен под воздействием циклического замораживания-оттаивания и фильтрации воздуха теплопроводность плит плотностью  $74 \text{ кг/м}^3$  может увеличиться в 2,8 раза, а плит плотностью  $156 \text{ кг/м}^3$  – в 1,9 раза. Очевидно, что это приведет к значительному понижению термического сопротивления слоя утеплителя [1].

Минераловатные плиты благодаря волокнистой структуре способны фильтровать потоки воздуха, что приводит к ухудшению теплозащитных качеств вентилируемых фасадов. В воздушной прослойке, находящейся под облицовочными панелями, в ветреную погоду возникает интенсивное движение воздуха, которое способно увеличить теплопотери через наружные стены на 25 % [2].

Скорость движения воздуха за облицовочными панелями и его фильтрация через слой утеплителя зависят от ряда геометрических параметров вентилируемого фасада и плотности минераловатных плит. При правильном подборе значений этих параметров можно добиться снижения теплопотерь через наружные стены в ветреную погоду. В связи с этим проведено специальное исследование по влиянию на уровень теплозащиты следующих параметров вентилируемых фасадов: ширины открытого стыка между облицовочными панелями (3; 7; 11 мм); размера вентилируемой воздушной прослойки (20; 50; 80 мм); отношения числа горизонтальных стыков между облицовочными панелями к высоте утепленной части стены здания (0,667; 1,333; 2); плотности минераловатных плит ЗАО «Изорок» ( $65$ ;  $95$ ;  $150 \text{ кг/м}^3$ ) [2].



**Рис. 1.** Изменение коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С) в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания  $n$  и скорости потока воздуха  $V$ , м/с, обдувающего минераловатные плиты с плотностью  $74 \text{ кг/м}^3$  [1]

В эксперименте скорость ветра принималась равной  $V = 4,7$  м/с, что соответствовало максимальной из средних скоростей ветра за январь для г. Тамбова. Направление ветра принималось перпендикулярным облицовочным панелям, как наиболее опасное с точки зрения ухудшения теплозащитных качеств стены. В связи с тем, что основное движение воздуха через слой утеплителя происходит в наружных слоях теплоизоляционного материала, для проведения экспериментов достаточно было принять толщину минераловатных плит 50 мм, облицовочной панели – 10 мм [2].

Установлено, что большое влияние на изменение термического сопротивления слоя минераловатных плит под воздействием ветра оказывает отношение числа горизонтальных стыков между облицовочными панелями к высоте утепленной части стены здания. Выявлено, что увеличение данного отношения приводит к снижению термического сопротивления на 37 %. Большое влияние оказывает и плотность минераловатных плит. При увеличении плотности с 65 до 150 кг/м<sup>3</sup> происходит снижение термического сопротивления на 23 % [2].

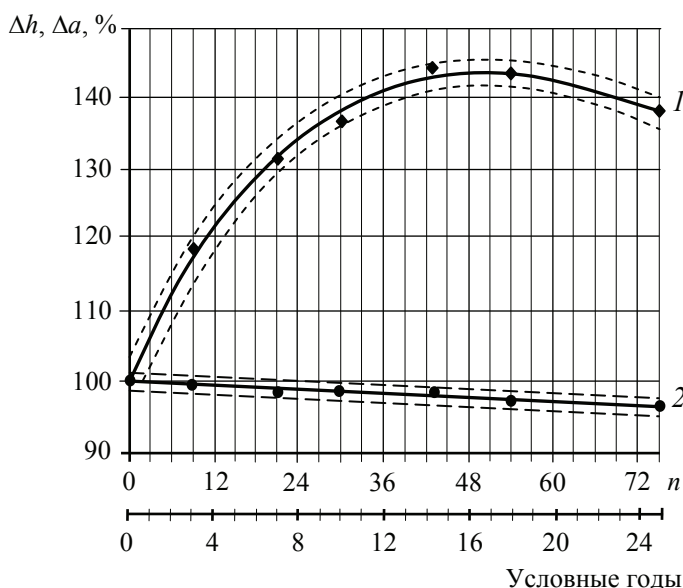
Расстояние между теплоизоляционным материалом и тыльной поверхностью облицовочной панели оказывает влияние неравномерно. При изменении величины вентилируемой прослойки с 20 до 50 мм термическое сопротивление уменьшается всего на 2 %, а с 50 до 80 мм – на 20 %. Наименьшее влияние на снижение термического сопротивления оказывает ширина открытого стыка между облицовочными панелями. Изменение ширины с 3 до 11 мм приводит к снижению термического сопротивления на 17 %. В реальных конструктивных решениях вентилируемых фасадов значения рассматриваемых выше параметров часто принимаются равными: ширина открытого стыка между панелями – 9 мм; размер вентилируемой прослойки – 50 мм; отношение числа горизонтальных стыков к высоте утепленной части стены – 1,333; плотность минераловатной плиты – 95 кг/м<sup>3</sup>. Такое сочетание параметров в условиях воздействия ветра приводит к снижению термического сопротивления слоя минераловатных плит на 0,499 м<sup>2</sup>·°С/Вт, что соответствует условному уменьшению его толщины на 20 мм [2].

При воздействии на минераловатную плиту эксплуатационных факторов изменяются ее линейные размеры, при этом могут наблюдаться как усадка, так и набухание. Усадка плит может ухудшить теплотехнические качества ограждающей конструкции, так как нарушение целостности термической оболочки здания приводит к возникновению «мостиков холода».

С учетом вышеизложенного в работе [3] описано исследование влияния числа циклов переменного замораживания-оттаивания на изменение линейных размеров (ширины и толщины) образцов минераловатных плит ЗАО «Изорок» плотностью 74 и 156 кг/м<sup>3</sup>.

Графическая интерпретация результатов эксперимента приведена на рис. 2.

Толщина минераловатных плит за время эксплуатации может изменяться дважды: сначала имеет место набухание, затем – усадка. На первом этапе разрушается связующее, то есть замерзающая вода раздвигает мине-



**Рис. 2.** Изменение толщины  $\Delta h$  (1) и ширины  $\Delta a$  (2) образцов минераловатных плит плотностью  $74 \text{ кг/м}^3$  в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания  $n$  [3]

раловатные волокна и разрыхляет утеплитель, что вызывает увеличение толщины минераловатных плит и уменьшение коэффициента теплопроводности. На втором этапе происходит процесс незначительной усадки плит по толщине и увеличение их теплопроводности, что связано с разрушением уже не связующего, а самих волокон [3].

Для образцов плотностью  $74 \text{ кг/м}^3$  предельным числом попеременных воздействий, при котором полностью затухает процесс набухания, оказалось 75 циклов (16 условных лет эксплуатации), а для образцов плотностью  $156 \text{ кг/м}^3$  – 150 циклов (30 условных лет эксплуатации). При этом толщина образцов увеличилась на 43 и 24 % соответственно. В результате циклического воздействия замораживания-оттаивания с увеличением числа циклов размеры образцов по ширине и длине уменьшаются, наблюдается усадка. Так, при плотности утеплителя  $156 \text{ кг/м}^3$  усадка образцов после 150 циклов составила 1 %, а при плотности  $74 \text{ кг/м}^3$  после 75 циклов – 3–4 %. Таким образом, после 25 условных лет эксплуатации при размерах теплоизоляционных плит  $1000 \times 500 \times 50$  мм швы между соседними плитами при их плотности  $74 \text{ кг/м}^3$  могут раскрыться на 20...40 мм, а при плотности  $156 \text{ кг/м}^3$  – на 5...10 мм [3].

Отрицательное воздействие на эксплуатационные показатели стен может оказывать набухание плит по толщине. Если принять толщину теплоизоляционного слоя в наружных стенах с вентилируемым фасадом равной 100 мм, то после 16 условных лет эксплуатации вентилируемая воздушная прослойка уменьшится на 43 мм при плотности утеплителя  $74 \text{ кг/м}^3$ . При утеплении плитами плотностью  $156 \text{ кг/м}^3$  после 28 условных лет эксплуатации эта прослойка уменьшится на 24 мм, что существенно ослабит вентиляцию и процесс удаления влаги из утеплителя [3].

Интенсивное развитие деструктивных процессов в материале, вызванное циклическим замораживанием-оттаиванием, приводит к потере массы утеплителя за счет выделения пыли в окружающую среду. Экспериментальное исследование, в котором изучалась потеря массы минераловатных плит в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания и их исходной плотности, представлено в работе [4].

Измерение массы проводилось до воздействия на образцы циклического замораживания-оттаивания и после 9, 21, 30, 43, 54 и 75 циклов. Исходная плотность минераловатных плит ЗАО «Изорок» принималась равной 74, 115 и 156 кг/м<sup>3</sup>. Установлено, что наибольшее влияние на потерю массы оказывает число циклов замораживания-оттаивания. С увеличением числа циклов от 0 до 75 образцы минераловатных плит теряют около 11 % своей исходной массы. Однако с увеличением плотности плит динамика потери их массы резко снижается. Значительная потеря массы наблюдалась у минераловатных плит плотностью 74 кг/м<sup>3</sup>, а минимальная – у плит плотностью 156 кг/м<sup>3</sup>. После 25 условных лет эксплуатации данного материала потеря массы составит 18,78 % для плит плотностью 74 кг/м<sup>3</sup> и 3,32 % – для плит плотностью 156 кг/м<sup>3</sup> [4].

Проведенное в работе [4] исследование указывает на целесообразность использования ветрозащитных пленок на наружной поверхности минераловатных плит либо применения для дополнительного утепления минераловатных плит повышенной плотности (150 кг/м<sup>3</sup> и более).

Исследование влияния сжимающих усилий на теплопроводность минераловатных плит «Изоруф-Н» показало, что с ростом относительной деформации теплопроводность увеличивается. Это объясняется увеличением плотности материала в результате уменьшения объема пустот между волокнами. Установлено, что при 80%-й относительной деформации сжатия теплопроводность минераловатной плиты увеличивается на 30 % [5].

Стоит отметить, что теплопроводность минераловатных плит снижается в результате любого вида старения, что связано с нарушением структуры материала и уменьшением количества находящейся в нем влаги. При этом 300 часов теплового старения снижают теплопроводность на 10 %, а 300 часов фотостарения – на 6 % [5].

В процессе эксплуатации минераловатные плиты подвергаются воздействию жидких сред, приводящему к структурным изменениям и снижению физико-механических характеристик. В работе [6] изучались термоактивационные закономерности водопоглощения минераловатных плит «Изоруф-Н» при постоянных температурах (20, 40 и 60 °С). По результатам испытаний построены кинетические кривые в координатах «водопоглощение» – «продолжительность выдержки в воде» (рис. 3). Из рисунка 3 видно, что процесс водопоглощения интенсивно протекает в течение 60 мин, после чего он замедляется и стабилизируется. При повышенных температурах процесс водопоглощения протекает более равномерно, но при увеличении температуры (с 20 до 60 °С) водопоглощение увеличивается в три раза.

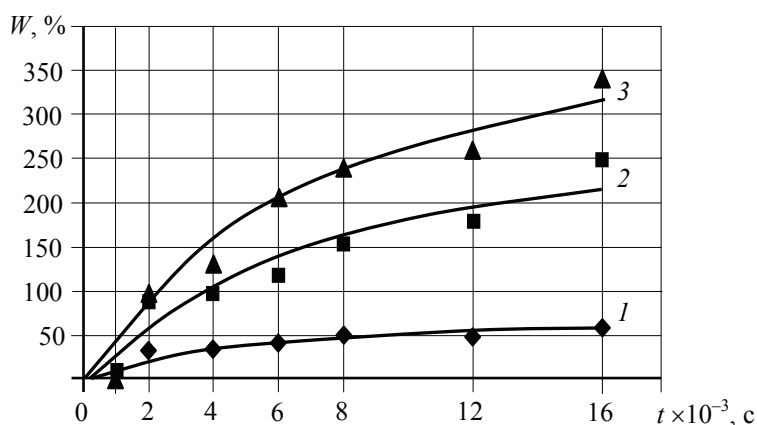


Рис. 3. Зависимость водопоглощения  $W$  минераловатной плиты от продолжительности замачивания  $t$  при различной температуре, °С [6]: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60

Для прогнозирования скорости водопоглощения (набухания) необходимо знать величины, постоянные в течение всего процесса и не зависящие от температуры. Такие величины можно получить, рассмотрев эти процессы с термоактивационных позиций, используя уравнение вида Аррениуса [7].

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

где  $w$  – скорость набухания, %/с;  $w_0$  – предэкспоненциальный множитель, %/с;  $E$  – энергия активации водопоглощения (набухания), кДж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К);  $T$  – температура, К.

Скорость водопоглощения (набухания) будет характеризоваться двумя величинами  $w_0$  и  $E$ . Зависимости водопоглощения от времени отражают экспоненциальный характер процесса и описываются уравнением (1).

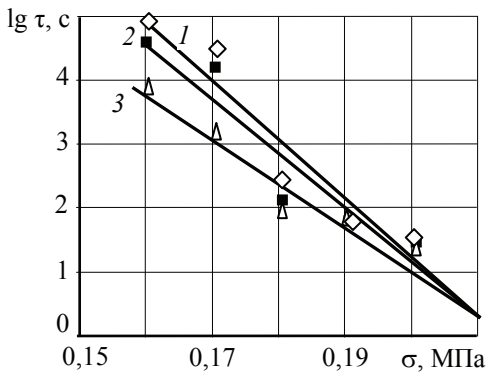
Кинетические кривые обрабатывали методом графоаналитического дифференцирования. Получены следующие величины констант:  $\lg w_0 = 2$  %/с;  $\lg w = -1,4$  %/с при  $T = 40$  °С;  $E = 21,25$  кДж/моль.

Для изучения закономерностей разрушения минераловатной плиты «Изоруф-Н» с термоактивационных позиций проведены длительные механические испытания при поперечном изгибе в режиме заданных постоянных напряжений и температур [6]. Полученные экспериментальные данные в координатах «логарифм долговечности» – «напряжение» при вариации температур представлены на рис. 4, которого видно, что полученные для минераловатной плиты линейные зависимости образуют семейство прямых (пучок), сходящихся в одну точку (полнос), и описываются уравнением [7]:

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

где  $\tau_m$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  и  $T_m$  – физические константы материала:  $\tau_m$  – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп





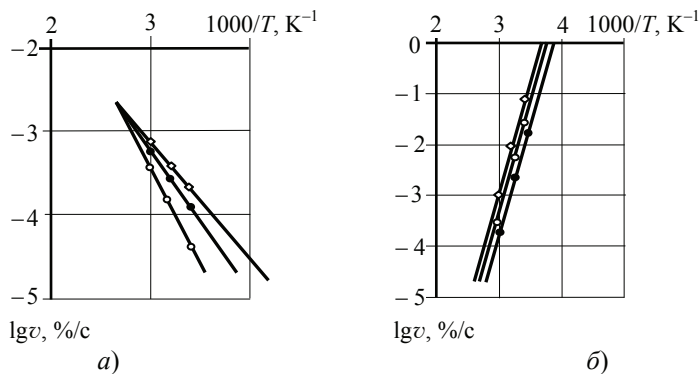
**Рис. 4.** Зависимости долговечности  $\tau$  минераловатной плиты при разрушении поперечным изгибом от напряжения  $\sigma$  и температуры,  $^{\circ}\text{C}$  [6]:  
1 – 20; 2 – 40; 3 – 60

ные константы имеют следующие значения:  $\tau_m = 10^{0,3}\text{c}$ ;  $T_m = 588\text{K}$ ;  $U_0 = 223\text{кДж/моль}$ ;  $\gamma = 1051\text{кДж/(МПа}\cdot\text{моль)}$ . Предэкспонента  $\tau_m$  значительно больше периода колебаний атомов в твердом теле ( $10^{-12}\text{c}$ ). Это, по-видимому, связано со сложным волокнистым строением минераловатных плит. Величина  $T_m$  близка к значению температуры разложения синтетического связующего,  $U_0$  соответствует энергии активации разрушения силикатов, а большая величина  $\gamma$  отражает неравномерность распределения нагрузки в волокнистой структуре минераловатной плиты.

По уравнению (2), подставив значения физических констант, можно при заданных параметрах эксплуатации рассчитать долговечность минераловатной плиты.

Изучение закономерностей деформирования минераловатных плит также проводили с позиции термофлуктуационной концепции. Образцы размерами  $30 \times 30 \times 30\text{ мм}$  испытывали на длительное сжатие и пенетрацию в широком диапазоне напряжений и температур (рис. 5).

Из рисунка 5 видно, что зависимости логарифма скорости деформирования  $\lg v, \%/c$ , от обратной температуры  $1000/T, \text{K}^{-1}$ , представляют собой семейства прямых в виде пучка при сжатии (см. рис. 5, а) и параллельных –



**Рис. 5.** Зависимости скорости деформирования  $v$  от обратной температуры  $1000/T$  для минераловатной плиты при сжатии (а) и пенетрации (б) [6]

атомов, сегментов),  $c$ ;  $U_0$  – максимальная энергия активации разрушения,  $\text{кДж/моль}$ ;  $\gamma$  – структурно-механическая константа,  $\text{кДж/(моль}\cdot\text{МПа)}$ ;  $T_m$  – предельная температура существования твердого тела (температура разложения),  $\text{K}$ ;  $\tau$  – время до разрушения (долговечность),  $c$ ;  $\sigma$  – напряжение,  $\text{МПа}$ .

Величины констант, входящих в уравнение (2), определены графоаналитическим способом. В интервалах температур  $20 \dots 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и напряжений  $0,16 \dots 0,2\text{ МПа}$  дан-

ные значения:  $\tau_m = 10^{0,3}\text{c}$ ;  $T_m = 588\text{K}$ ;  $U_0 = 223\text{кДж/моль}$ ;  $\gamma = 1051\text{кДж/(МПа}\cdot\text{моль)}$ . Предэкспонента  $\tau_m$  значительно больше периода колебаний атомов в твердом теле ( $10^{-12}\text{c}$ ). Это, по-видимому, связано со сложным волокнистым строением минераловатных плит. Величина  $T_m$  близка к значению температуры разложения синтетического связующего,  $U_0$  соответствует энергии активации разрушения силикатов, а большая величина  $\gamma$  отражает неравномерность распределения нагрузки в волокнистой структуре минераловатной плиты.

По уравнению (2), подставив значения физических констант, можно при заданных параметрах эксплуатации рассчитать долговечность минераловатной плиты.

Изучение закономерностей деформирования минераловатных плит также проводили с позиции термофлуктуационной концепции. Образцы размерами  $30 \times 30 \times 30\text{ мм}$  испытывали на длительное сжатие и пенетрацию в широком диапазоне напряжений и температур (рис. 5).

Из рисунка 5 видно, что зависимости логарифма скорости деформирования  $\lg v, \%/c$ , от обратной температуры  $1000/T, \text{K}^{-1}$ , представляют собой семейства прямых в виде пучка при сжатии (см. рис. 5, а) и параллельных –



при пенетрации (см. рис. 5, б). Такое поведение материала объясняется его сложной неравномерной структурой, которая определяется неплотным прилеганием минеральных волокон друг к другу и, как следствие того, наличием большого количества пустот.

Полученные зависимости описываются уравнениями вида Аррениуса [7]:

– для пучка

$$v = v_m \exp \left[ - \frac{U_{0(d)} - \gamma_{(d)} \sigma}{R} \left( 1 - \frac{T}{T_{m(d)}} \right) \right]; \quad (3)$$

– для параллельных прямых

$$v = v^* \exp \frac{U}{RT} \exp(-\beta \sigma), \quad (4)$$

где  $v$  – скорость деформирования материала, %/с;  $v_m$ ,  $U_{0(d)}$ ,  $U$ ,  $\gamma_{(d)}$  и  $T_{m(d)}$  – физические константы;  $\beta$  – структурно-механический коэффициент, МПа<sup>-1</sup>;  $v^*$  – эмпирическая константа.

Значения констант, входящих в уравнения (3), (4) представлены в таблице.

#### Значения физических и эмпирических констант при деформировании минераловатной плиты [6]

Вид нагрузки	$v_m (v^*)$ , %/с	$T_{m(d)}$ , К	$U_{0(d)} (U)$ , кДж/моль	$\gamma_{(d)}$ , кДж/(моль·МПа)	$\beta$ , МПа <sup>-1</sup>
Сжатие	$10^{-2,6}$	370	48	640	–
Пенетрация	$10^{0,27}$	–	103	–	80

Таким образом, рассмотренные с единых термоактивационных позиций закономерности водопоглощения, разрушения и деформирования минераловатных плит позволяют прогнозировать их долговечность, скорость деформирования и водонасыщения в эксплуатационном диапазоне нагрузок и температур.

Из вышесказанного следует, что проектирование ограждающих конструкций зданий с применением минераловатных утеплителей необходимо вести с учетом возможного изменения их свойств в процессе эксплуатации. В целях повышения надежности вентилируемых теплоизоляционных фасадных систем рекомендуется использовать плиты повышенной плотности (150 кг/м<sup>3</sup> и более) или с ветрозащитной пленкой на их наружной поверхности.

#### Список литературы

1. Гусев, Б. В. Теплопроводность минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Пром. и гражд. строительство. – 2005. – № 1. – С. 48 – 49.
2. Езерский, В. А. Влияние вентилируемого фасада на теплозащитные качества утеплителя / В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Жилищ. строительство. – 2003. – № 3. – С. 18 – 20.

3. Гусев, Б. В. Изменение линейных размеров минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Пром. и гражд. строительство. – 2004. – № 8. – С. 32–34.
4. Гусев, Б. В. Потеря массы минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Кровел. и изоляц. материалы. – 2005. – № 2. – С. 3 – 4.
5. Ярцев, В. П. Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит/ В. П. Ярцев, А. М. Дорофеев // Кровел. и изоляц. материалы. – 2010. – № 4. – С. 14 – 15.
6. Ярцев, В. П. Термоактивационные закономерности разрушения, деформирования и водопоглощения минераловатных плит / В. П. Ярцев, А. М. Дорофеев // АСАДЕМІА. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 604 – 607.
7. Ратнер, С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.

#### References

1. Gusev B.V. Ezerskij V.A., Monastyrev P.V. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2005, no. 1, pp. 48-49.
2. Ezerskij V.A. Monastyrev P.V. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*, 2003, no. 3, pp. 18-20.
3. Gusev B.V. Ezerskij V. A., Monastyrev P.V. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2004, no. 8, pp. 32-34.
4. Gusev B.V. Ezerskij V.A., Monastyrev P.V. *Krovel'nye i izolyatsionnye materialy*, 2005, no. 2, pp. 3-4.
5. Jarcev V.P., Dorofeev A.M. *Krovel'nye i izolyatsionnye materialy*, 2010, no. 4, pp. 14-15.
6. Jarcev V.P., Dorofeev A.M. *ACADEMIA. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2010, no. 3, pp. 604-607.
7. Ratner S.B., Jarcev V.P. *Fizicheskaja mehanika plastmass. Kak prognozirujut rabotosposobnost'?* (Physical mechanics of plastics. How to predict performance?), М.: Himija, 1992, 320 p.

---

### The Influence of External Factors on Thermo-Physical and Continual Mechanical Properties of Mineral Wool Boards

V. P. Yartsev, A. A. Mamontov, S. A. Mamontov

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** aging; freeze-thaw cycles; longevity; mineral wool board; thermal conductivity; ventilated façade; water absorption.

**Abstract:** The paper is devoted to the study of the impact of freeze-thaw cycles on the heat conduction coefficient; the linear dimensions and loss of mass of mineral wool boards of different density have been analyzed. The influence of geometric parameters of ventilated facade on thermal resistance changes of mineral wool board has been described.

The thermal conductivity increases with the rise in relative deformation and its reduction under aging. The results of the study of thermo-active regularity of destruction, deformation and water absorption of mineral wool boards have been presented.

---

© В. П. Ярцев, А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов, 2014

*Статья поступила в редакцию 10.07.2013 г.*