

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №3, Том 12 / 2020, No 3, Vol 12 <https://esj.today/issue-3-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/05SAVN320.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Портнягин Д.Г., Першин Д.Л., Иванов И.А. Исследование влияния механических и климатических воздействий на стабильность свойств эковаты в условиях резкоконтинентального климата // Вестник Евразийской науки, 2020 №3, <https://esj.today/PDF/05SAVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Portnyagin D.G., Pershin D.L., Ivanov I.A. (2020). Study of the influence of mechanical and climatic influences on the stability of ecowool properties in a sharply continental climate. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(12). Available at: <https://esj.today/PDF/05SAVN320.pdf> (in Russian)

УДК 691-494; 674.8

ГРНТИ 67.09.43; 67.09.91

**Портнягин Денис Геннадьевич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
Хакасский технический институт (филиал), Абакан, Россия  
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: [my4455@yandex.ru](mailto:my4455@yandex.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-1849>

SPIN-код: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=655501](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=655501)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191529723>

**Першин Дмитрий Леонидович**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
Хакасский технический институт (филиал), Абакан, Россия  
Магистрант

E-mail: [dimtr@mail.ru](mailto:dimtr@mail.ru)

**Иванов Илья Александрович**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
Хакасский технический институт (филиал), Абакан, Россия  
Магистрант

E-mail: [ilya42@mail.ru](mailto:ilya42@mail.ru)

## **Исследование влияния механических и климатических воздействий на стабильность свойств эковаты в условиях резкоконтинентального климата**

**Аннотация.** Эковата выдувается с помощью установок в колодцевую кладку или полости каркасно-щитовой конструкций. При этом она является альтернативой широко распространенным теплоизоляционным материалам. Однако из-за недостатка информации об изменении ее характеристик во времени она мало используется в сравнении с традиционными теплоизоляционными материалами.

В статье представлены данные о состоянии слоя эковаты в ограждающих конструкциях здания после 8 лет эксплуатации в режиме нерегулярного отопления. Авторами проведен мониторинг и тепловизионное обследование в течение всего срока эксплуатации здания. Отобраны и произведены испытания проб эковаты из ограждающих конструкций после

нерегулярного отопления здания, что для минеральной ваты приводит к влагонакоплению. Изучено климатическое воздействие на степень изменяемости физико-технических и теплотехнических характеристик эковаты в условиях резкоконтинентального климата. Авторами при сравнении двух теплоизоляционных материалов обнаружено, что образец минераловатной плиты с низкой плотностью в полости высотой 2,8 м демонстрирует постепенное осаждение.

Также в статье представлены данные испытаний образцов эковаты, подверженных постоянной нагрузке и относительной влажности, чередующейся от 50 до 80 % при 20 °С. Установлено, что при таких условиях характерно прогрессирующая деформация в виде незначительного увеличения в объеме. Однако после 7–10 циклов деформация асимптотически приближается к равновесию. Для сравнения минераловатная плита плотностью 75 кг/м<sup>3</sup>, подверженная постоянной нагрузке и относительной влажности от 50 до 80 % при 20 °С, показала мгновенную деформацию в виде осаждения образцов. Анализ данных показал, что после 12 циклов деформация асимптотически приблизилась к равновесию.

Для дальнейшей имитации влияния механических и климатических воздействий авторами спроектирован и построен испытательный стенд с площадкой для вибратора регулируемой частоты. Составлена программа испытаний.

**Ключевые слова:** эковата; усадка теплоизоляции; стабильность свойств во времени; коэффициент теплопроводности; сорбционная влажность; испытательный стенд; длительные испытания

К повсеместно применяемым теплоизоляционным материалам относятся минеральная вата и пенополистирол, которые признаны как высокоэффективная теплоизоляция. Однако их производят из невозобновляемого сырья с большими затратами энергии. Поэтому актуальной альтернативой являются натуральные органические теплоизоляционные материалы, получаемые из возобновляемых или переработанных источников [1; 2]. Такие факторы, как высокая гигроскопичность, горючесть и возможность развития плесени ограничивают более широкое использование эковаты. Достоверное определение этих параметров, их стабильности во времени, а также их влияния на свойства теплоизоляционного материала позволят увеличить объемы применения эковаты и снизить энергоемкость строительства. Свойства эковаты не представлены в действующих ГОСТах и сводах Правил, а значения ее параметров в технических свидетельствах производителей разнятся. Отсутствие достоверных данных по таким важным характеристикам, как сорбционная влажность, паропроницаемость и коэффициент теплопроводности существенно ограничивает возможность применения ограждающих конструкций с эковатой [3]. Поэтому определение фактических физико-технических и теплофизических характеристик эковаты при эксплуатации является актуальным.

При эксплуатации здания волокнистые теплоизоляционные материалы (например, минераловатные плиты, эковата) подвергаются внешним климатическим воздействиям [3; 4]. Для минераловатных плит при длительной эксплуатации возможно осаждение.

Процесс осаждения сыпучей и волокнистой теплоизоляции является длительным процессом. Основными факторами, влияющими на осаждение теплоизоляционных материалов, являются собственный вес, климатические воздействия и возможные вибрации конструкций здания. Собственный вес влияет на весь теплоизоляционный материал при его монтаже. Климатическое воздействие, в особенности перепад значений температур и влажности влияет на волокнистые теплоизоляционные материалы. Вибрации строительных конструкций могут оказывать влияние на неплотно прилегающие теплоизоляционные материалы и изделия.

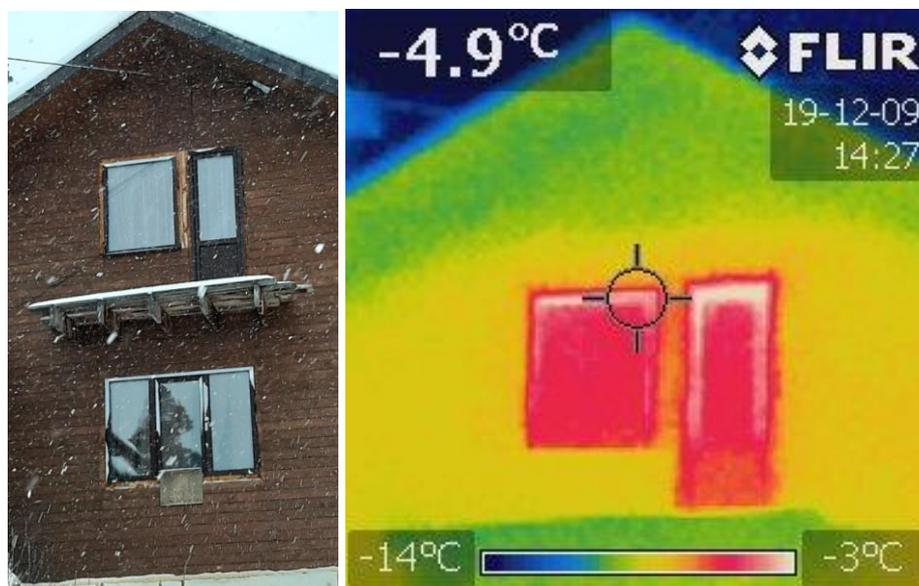
Кроме того, ускоренный прогресс осаднения происходит, когда теплоизоляционный материал изменяет значения влажности. Поэтому также важным вопросом является поведение эковаты при равных условиях внешнего воздействия, в сравнении с минераловатными изделиями.

Стандартом ISO CD 18393 предусмотрено испытание эковаты примеханическом и климатическом воздействиях. Однако, при проведении испытаний требуется только увлажнение эковаты в начале испытания и постоянное воздействие при стабильных климатических условиях (температура 40 °С и относительная влажность окружающей среды 90 %).

Эковату получают из вторичного сырья и бытовых отходов. Среднее значение теплопроводности составляет 0,041 Вт/м·°С, насыпная плотность 35–65 кг/м<sup>3</sup>. Эковата – трудносгораемый материал, что обусловлено добавками антипиренов (буры, борной кислоты) [5]. Материал обладает биостойкостью, звукопоглощающими свойствами. Наносится методом напыления с использованием компрессорной установки.

Основным преимуществом эковаты по сравнению с теплоизоляционными плитами является процедура монтажа. Неплотно уложенная теплоизоляция в виде плит продувается. Неплотное примыкание плит к стене и соседним плитам проницаемо для воздуха. Следовательно, движение воздуха приводит к увеличению теплопотерь через ограждающие конструкции, что приводит к высоким затратам на отопление или плохому тепловому комфорту в здании. Степень конвекции в неплотной теплоизоляции зависит не только от свойств теплоизоляции и температурных условий, но и от геометрии ограждающих конструкций. Поэтому для исследования конвекции в мансардной теплоизоляции были проведены эксперименты на эксплуатируемом здании. В процессе мониторинга и тепловизионного обследования признаков естественной конвекции не обнаружено (рис. 1).

Известно, что естественная конвекция может вызвать значительное увеличение потерь тепла через чердачное перекрытие. Естественная конвекция обусловлена разницей в плотности холодного и теплого воздуха. В мансардной теплоизоляции воздух в нижней части теплоизоляционного слоя нагревается и поднимается, тогда как воздух в верхнем слое опускается. Кроме естественной конвекции активное влияние на теплопотери оказывает вынужденная конвекция, которая вызвана внешним потоком воздуха, например, вентиляцией чердака.



*Рисунок 1. Тепловизионное обследование каркасно-щитового здания (проведено авторами)*

Физико-технические и теплотехнические свойства эковаты ранее изучены [6], но возникают вопросы об устойчивости и сохранении свойств вследствие механических или климатических воздействий. Авторы [7; 8] проводили исследования, направленные на исследования поведения эковаты в зависимости от различных типов механических воздействий, которые ускоряют процесс оседания. При этом следует учитывать процесс старения материала при подобных испытаниях.

Однако помимо механических воздействий представляется важным изучение климатического воздействия на степень изменяемости физико-технических и теплотехнических характеристик эковаты.

Из эксплуатации зданий известно, что, если плотность теплоизоляционного материала слишком мала, он может осесть в ограждающей конструкции. Например, было обнаружено, что образец минераловатной плиты с низкой плотностью в полости высотой 2,8 м демонстрирует постепенное оседание, которое составляло до 7 см. При использовании в стенах оседание уменьшается за счет применения более плотных минераловатных изделий. Плотность необходима для обеспечения объемной стабильности в ограждающей конструкции, подверженной воздействию климата, характеризующегося циклическими изменениями температуры и влажности. Метод, используемый для прогнозирования плотности сыпучей волокнистой изоляции, подверженной воздействию циклических влажностных условий, включает использование расширенной эмпирической модели.

Все сыпучие материалы характеризуются тем, что представляют собой массу материала, состоящую из множества мелких частиц и волокон. Эти частицы и волокна не связаны вместе в определенной структуре. За счет этого при относительно небольшом воздействии материал равномерно распределяется по заранее определенной полости.

Исследуемое здание простой конфигурации в плане, двухэтажное с неотапливаемым чердаком. Конструктивная схема – каркасно-щитовая (рис. 2). В качестве утеплителя служит эковата (рис. 3). Толщина стены определена исходя из конструктивных требований и теплотехнического расчета. Несущим каркасом являются деревянные бруски, а в качестве стеновых наполнителей использовалась эковата толщиной 150 мм. Физико-технические характеристики используемых материалов наружной стены и чердачного перекрытия приведены в табл. 1 и 2 соответственно. Установленный на фундамент щит снаружи обтянут пергамином с целью гидро- и ветроизоляции.

Район строительства – г. Дивногорск Красноярского края. Базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи  $R_{0TP}$  составляет  $3,58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .



*Рисунок 2. Каркас и внешний вид обследуемого здания (мониторинг выполнен авторами)*

Таблица 1

Характеристики материалов наружной стены

№ п.п.	Наименование материала	$\delta, м$	$\gamma_o, кг/м^3$	$\lambda, Вт/(м \cdot ^\circ C)$	$R, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$
1	Фальш-брус	0,02	500	0,58	0,034
2	Эковата	0,15	38	0,038	3,94
3	Доска обрезная	0,025	500	0,7	0,036
4	ГКЛ	0,0125	1250	0,36	0,035

Таблица 2

Характеристики материалов чердачного перекрытия

№ п.п.	Наименование материала	$\delta, м$	$\gamma_o, кг/м^3$	$\lambda, Вт/(м \cdot ^\circ C)$	$R, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$
1	ГКЛ	0,0125	1250	0,035	0,034
2	Эковата	0,22	2500	3,94	0,036
3	Доска обрезная	0,025	500	0,036	3,94



Рисунок 3. Отбор проб эковаты из ограждающих конструкций (выполнено авторами)

Во время визуального осмотра отмечалось отчетливое примыкание слоя эковаты с элементами деревянного каркаса стен. Эковата не расслаивается, структура однородная, упругая. Не было отмечено никаких внешних особенностей образцов эковаты, извлеченных из наружных стен, которые отличали бы их от свежеложенной эковаты. Согласно опросу жителей, проживающих в этом доме в летний период, и периодически пребывающих в зимний сезон, в помещениях всегда тепло. Отопление функционировало только в выходные дни, что является жесткими условиями эксплуатации здания. При данном режиме эксплуатации в большинстве случаев характерно влагонакопление в ограждающих конструкциях, особенно в слое теплоизоляционного материала [9–11]. В обследуемом здании следов промерзания или смачивания эковаты не обнаружено.

Для образцов эковаты, подверженных постоянной нагрузке и относительной влажности, чередующейся от 50 до 80 % при 20 °С, характерно прогрессирующая деформация в виде незначительного увеличения в объеме. Однако после 7–10 циклов деформация асимптотически приближается к равновесию. Для сравнения минераловатная плита плотностью 75 кг/м<sup>3</sup>, подверженная постоянной нагрузке и относительной влажности от 50 до 80 % при 20 °С, показала мгновенную деформацию в виде осадения образцов. После 12 циклов деформация асимптотически приблизилась к равновесию. Предполагается, что деформация в последующем не изменится с количеством циклов.

Следует иметь в виду, что характеристики материала для гигроскопичных материалов связаны с влажностью. Для гигроскопичных материалов воздействие влаги имеет большое значение на такие свойства как плотность и коэффициент теплопроводности [12].

Проведенные испытания отобранных образцов эковаты из ограждающих конструкций эксплуатируемого здания показали, что до 8 лет эксплуатации величина коэффициента теплопроводности оставалась неизменной, далее увеличилась незначительно. Это связано с тем, что при циклическом воздействии температуры и влаги на теплоизоляционный материал начинают процессы деструкции материала, что способствует удержанию влаги внутри

материала. В результате чего увеличивается количество сорбционной влаги, и в результате ухудшаются теплофизические показатели материала. Образцы подвергались 55 циклам попеременного замораживания-оттаивания, в результате чего определено изменение коэффициента теплопроводности экваты при его длительной эксплуатации.

Проведен анализ результатов исследований качественных свойств экваты, полученных в результате экспериментальных исследований. Очевидно, что с увеличением влажности образцов растет их значение коэффициента теплопроводности. Это связано с увеличением содержания воды, имеющей более высокое значение теплопроводности, что согласно принципу аддитивности существенно влияет на суммарный показатель теплопроводности.

Динамика изменения величины сорбции образцами экваты была изучена путем длительного выдерживания в эксикаторах при относительной влажности воздуха 100 % и температуре 20 °С.

Интенсивное насыщение образцов (до 24 %) происходит в течение первого месяца. После испытаний материал имеет однородную пористую структуру, которая сохраняется после длительного механического (вибрационного, динамического) воздействия, ускоряющего процесс усадки, характерный для волокнистых теплоизоляционных материалов.

Для дальнейшей имитации влияния механических и климатических воздействий был спроектирован и построен испытательный стенд с площадкой для вибратора регулируемой частоты (рис. 4).



**Рисунок 4.** Испытательный стенд для вибрационного воздействия (выполнено авторами)

Известно, что на процесс оседания влияют и косвенные факторы, например, шероховатость поверхности смежных материалов и изделий в ограждающей конструкции. Поэтому при лабораторных испытаниях следует моделировать процесс оседания не в лабораторных емкостях, а в натуральных условиях – в реальной модели ограждающей конструкции для максимально возможного исключения косвенных факторов.

Проведен поиск конструкторских решений, спроектирована и изготовлена оптимальная конструкция стенда для испытаний волокнистых теплоизоляционных материалов на динамические воздействия. При анализе выбора элементов конструкции осуществлялся выбор их материала и профиля поперечного сечения с учетом требований массогабаритных и жесткостных характеристик. При помощи данного стенда волокнистые теплоизоляционные

материалы в составе фрагмента стены будут испытаны на динамические вибрационные воздействия.

Экспериментальные исследования на испытательном стенде позволят установить устойчивость волокнистых теплоизоляционных материалов к механическому воздействию, ускоряющего процесс усадки материала. В результате проделанной работы коллективом авторов совместно с ЗАО ЗДК «Золотая звезда» был разработан и изготовлен испытательный стенд волокнистых теплоизоляционных материалов.

При проектировании необходимо учитывать изменения свойств строительных материалов и изделий в результате климатических воздействий при эксплуатации. Для изучения эксплуатационных свойств эковаты и минеральной ваты будут проведены испытания: динамическое воздействие на образцы различной сорбционной влажности (5–20 %). Полученные таким способом экспериментальные данные будут отражать продолжительность эффективного использования теплоизоляционного материала.

Измерения будут проведены с теплоизоляцией из минеральной ваты и эковаты. Крепеж и технология монтажа теплоизоляционных материалов полностью соответствует промышленным условиям. При испытании теплоизоляции установлена ветрозащитная пленка в соответствии с практикой проектирования.

В общей сложности испытания будут проведены при трех вариантах условий:

1. Нормальные условия – без какого-либо механического и климатического воздействия (температура воздуха 20 °С, относительная влажность воздуха 65 %).
2. Периодические динамические воздействия на испытательном стенде. Образец эковаты находится внутри фрагмента ограждающей конструкции.
3. Внешние климатические воздействия (моделирование процесса влагонакопления при переменном замораживании/оттаивании образца). Длительность испытания более 50 циклов.

### Выводы

Мониторинг и тепловизионное обследование теплоизоляции здания с применением эковаты не выявили признаков конвекции, тепловое сопротивление ограждающих конструкций однородное. Разница температур на поверхностях ограждающих конструкций не превышает 6 °С.

Полученные результаты свидетельствуют, что на изменение физико-технических и телотехнических характеристик большее влияние оказывает переменные процессы сушки и влагонакопления. Поэтому рекомендуется обратить внимание на недопущение образования мостиков холода при проектировании ограждающих конструкций и конструктивных узлов примыкания конструкций.

Таким образом, проведенный анализ результатов экспериментальных исследований основных свойств эковаты отражают обоснованность использования материала в качестве теплоизоляционного по теплофизическим и физико-механическим показателям.

Представленная методика для проведения исследований физико-механических, теплофизических, эксплуатационных свойств и структуры образцов эковаты позволяет провести все исследования, необходимые для определения физико-технических и теплофизических характеристик эковаты.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволят определить оптимальный диапазон режимных параметров эксплуатации эковаты.

Математическое описание позволит прогнозировать плотность, водопоглощение, коэффициент теплопроводности материала в зависимости от режимных параметров эксплуатации. Прогнозирование качественных показателей в зависимости от режима эксплуатации дает возможность исключить или минимизировать мостики холода в будущем при эксплуатации здания.

После неблагоприятного режима эксплуатации (периодическое нерегулярное отопление) плотность материала составила  $69,2 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $(0,053 \pm 0,005) \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ . Гигроскопические свойства эковаты близки аналогичным свойствам древесины. Таким образом, исследуемый органический волокнистый материал является перспективным для его использования в условиях резкоконтинентального климата в качестве эффективного теплоизоляционного материала в деревянных каркасно-щитовых конструкциях малоэтажного строительства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The properties of cellulose insulation applied via the wet spray process / P. Lopez Hurtado [et al.] // *Build. Environ.* – 2016. – Vol. 107. – P. 43–51.
2. Kwon, Y.C. Cellulose Insulation for Use as Building Insulation in Korea / Y.C. Kwon, D.W. Yarbrough. – 2017. – Vol. 70, № Amsce. – P. 75–79.
3. Antonyová A. et al. Certain building materials with respect to their thermal properties as well as to their impact to environment // *International Journal of Integrated Engineering*. 2018 Vol. 10 № 4 С. 126–130. DOI: 10.30880/ijie.2018.10.04.021.
4. Nagy B., Simon T.K., Nemes R. Effect of built-in mineral wool insulations durability on its thermal and mechanical performance // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020 Vol. 139 № 1 С. 169–181. DOI: 10.1007/s10973-019-08384-5.
5. Еналеев Р.Ш. и др. К теории зажигания целлюлозных материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2012. – Т. 15. – №. 11.
6. Мошкова, Е.А. Исследование теплотехнических свойств эковаты / Е.А. Мошкова // *Эволюция современной науки: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 15.04.2015 г.: в 2 ч. Ч. 1.* – 2015. – С. 29–31.
7. Дубатовка А.И., Твердохлебов Р.В. Обзор технических свойств целлюлозной изоляции // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки.* – 2018. – №. 8. – С. 67–81.
8. Salonvaara, M. Impact of Weather on Predicting Drying Characteristics of Spray-Applied Cellulose Insulation / M. Salonvaara, M. Pazera, A. Karagiozis // *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings XI.* – 2010. – 14 p.
9. Flynn M.A. et al. An Investigation into the Hygrothermal Performance of a Mineral Wool Based Externally Insulated Enclosure in a Cold Climate // *Energy Procedia*. 2017 Vol.132. С. 345–350. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.746.
10. Sohn J.L. et al. Life-cycle based dynamic assessment of mineral wool insulation in a Danish residential building application // *Journal of cleaner production*. 2017 Vol. 142 С. 3243–3253. DOI: doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.145.
11. de la Hera G. et al. Comparative Environmental Life Cycle Analysis of Stone Wool Production Using Traditional and Alternative Materials // *Waste and Biomass Valorization*. 2017 Vol. 8 № 5 С. 1505–1520.
12. Еналеев Р.Ш. и др. Испарение влаги при пиролизе целлюлозных материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2015. – Т. 18. – №. 12.

**Portnyagin Denis Gennad'yevich**

Siberian federal university  
Khakass technical institute (branch), Abakan, Russia  
E-mail: my4455@yandex.ru

**Pershin Dmitriy Leonidovich**

Siberian federal university  
Khakass technical institute (branch), Abakan, Russia  
E-mail: dimtr@mail.ru

**Ivanov Il'ya Aleksandrovich**

Siberian federal university  
Khakass technical institute (branch), Abakan, Russia  
E-mail: ilya42@mail.ru

## **Study of the influence of mechanical and climatic influences on the stability of ecowool properties in a sharply continental climate**

**Abstract.** Ecowool is blown by equipment into a well masonry or cavity of a frame-shield structure. At the same time, it is an alternative to widespread heat-insulating materials. However, due to the lack of information about the change in its characteristics over time, it is little used in comparison with traditional thermal insulation materials.

The article presents data on the state of the ecowool layer in the building envelope after 8 years of operation in an irregular heating mode. The authors conducted monitoring and thermal imaging inspection over the entire life of the building. Ecowool samples from building envelopes were selected and tested after irregular heating of the building, which leads to moisture accumulation for mineral wool. The climatic effect on the degree of variability of the physico-technical and thermotechnical characteristics of ecowool in a sharply continental climate has been studied. When comparing two heat-insulating materials, the authors found that a sample of a mineral wool board with a low density in a cavity with a height of 2.8 m shows a gradual deposition.

The article also presents test data on ecowool samples subject to constant load and relative humidity, alternating from 50 to 80 % at 20 °C. It has been established that under such conditions a progressive deformation is characteristic in the form of a slight increase in volume. However, after 7–10 cycles, the deformation asymptotically approaches equilibrium. For comparison, a mineral wool board, subjected to constant load and relative humidity from 50 to 80 % at 20 °C, showed instant deformation in the form of deposition of samples. An analysis of the data showed that after 12 cycles, the deformation asymptotically approached the equilibrium.

To further simulate the influence of mechanical and climatic influences, the authors designed and built a test bench with a platform for an adjustable frequency vibrator. A test program has been compiled.

**Keywords:** ecowool; insulation shrinkage; stability of properties over time; thermal conductivity coefficient; sorption humidity; test bench; long-term tests