

## Свойства эковаты в каркасном деревянном здании после длительной эксплуатации с переменным режимом отопления

*Д. Г. Портнягин, Д. Л. Першин, И.А. Иванов*

*Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, Абакан*

**Аннотация:** Проведено обследование жилого каркасно-щитового здания, в котором качестве теплоизоляционного материала использована эковата. Проведено исследование влажностного состояния деревянных каркасных стен и чердачного перекрытия. Произведен отбор проб эковаты из различных участков стены. На всех отобранных пробах материала следов развития плесени не обнаружено, сорбционная влажность составляла не более 16%. Результаты лабораторных испытаний эковаты показали высокую сохраняемость плотности и коэффициента теплопроводности при длительной эксплуатации. Проведены испытания с целью определения воздействия влаги на характер изменения физико-технических свойств эковаты. Результаты исследований обрабатывали статистическими методами. В результате исследования установлено, что в слое эковаты обследованных каркасных стен и чердачного перекрытия влага не накапливается, а через утеплитель и элементы ограждающих конструкций выходит наружу. Проведенные исследования позволяют прогнозировать сохранение теплозащитных свойств эковаты в процессе эксплуатации длительное время.

**Ключевые слова:** эковата, долговечность, сорбционная влажность, плотность, коэффициент теплопроводности.

Важность энергосбережения и затрат энергии на отопление здания очевидна. Поэтому основное внимание все чаще уделяется тепловым показателям ограждающих конструкций здания, требования к которым значительно выросли за последние годы. Ожидается, что в период между 2010 и 2050 годами глобальные потребности в отоплении и охлаждении возрастут на 79% в жилых зданиях и на 84% в коммерческих зданиях [1]. Поэтому используя оптимальные стратегии энергосбережения, необходимо снижать потребление топлива, и как следствие – загрязнение окружающей среды. Теплоизоляция наружных стен является одним из способов достижения здания с нулевой (или почти нулевой) энергией. Теплоизоляционные материалы оказывают значительное влияние на снижение теплопередачи в стенах здания. Поэтому выбор рационального

---

вида теплоизоляционных материалов является важным фактором в теплоизоляции здания. Следует учесть, что более толстая теплоизоляция уменьшает теплотери, но в то же время увеличивает себестоимость строительства. Таким образом, определение оптимальной толщины теплоизоляции, которая одновременно минимизирует общую стоимость строительства и энергопотребления здания в течение срока его эксплуатации, является очень важным.

Повышенные требования к теплозащите зданий послужили предпосылкой к распространению многослойных ограждающих конструкций, в которых один из слоев выполнен из эффективной теплоизоляции. Ограждающая конструкция представляет собой комбинированную систему из разнородных материалов, долговечность которых может различаться на порядок. Прочность и долговечность конструкционных материалов для стен (кирпич, различные виды легких и тяжелых бетонов, дерево) изучена достаточно полно. Результаты многочисленных лабораторных испытаний таких материалов позволяют достоверно прогнозировать долговечность ограждающих конструкций. Значительно менее изучены изменения свойств эффективных органических волокнистых теплоизоляционных материалов при длительной эксплуатации. Методы прогнозирования долговечности изделий из неорганических волокнистых теплоизоляционных материалов (минеральной ваты) известны. Однако в действующей нормативной документации по применению эффективной теплоизоляции полностью отсутствует или приводится в ограниченном количестве информация о долговечности теплоизоляции [2, 3, 4]. Особенно это касается при сочетании климатических и механических воздействий, наблюдаемых при длительной эксплуатации в условиях резкоконтинентального климата. Кроме того, в научно-технической литературе недостаточно информации по стабильности свойств эковаты в

---

натурных условиях после длительной эксплуатации [5-7]. Без этой информации невозможно правильно оценить экономическую целесообразность использования того или иного конструктивного решения. Эковата известна достаточно давно, однако ее применение не повсеместное. Одной из причин этого является опасение осадки эковаты в ограждающей конструкции с образованием щелей и, как следствие, появление значительных мостов холода.

Древесина благодаря ее обрабатываемости, универсальности и эстетическим свойствам является предпочтительным строительным материалом с самых давних времен существования человека. Новые технологические разработки расширили использование современных строительных материалов. Однако процессы производства современных строительных материалов опасны для окружающей среды. Выбрасывается значительное количество газов, потребляются невозобновляемые природные ресурсы, а также образование отходов. Экологические проблемы растут и усугубляются. Предотвращение этих проблем очень важно для обеспечения устойчивости и защиты экологического баланса. При этом, древесина является основным возобновляемым ресурсом, ее отходы в процессе производства малы. Преимущества и недостатки древесины обусловлены ее органической структурой, а проблемы, связанные со структурными характеристиками древесины, зависят от ее поведения в отношении факторов окружающей среды. Факторы, которые влияют на древесину и вызывают деформации, можно разделить на три основные группы: физические, химические и биологические. При этом физические разрушения обычно способствуют развитию других разрушений. Биологические факторы обусловлены атаками микроорганизмов. Однако, ультрафиолетовое воздействие солнца, перепады температуры окружающей среды, переменные циклы замерзания-оттаивания можно считать факторами физического

---

разрушения. Физические факторы не приводят к быстрой деструкции древесины, но поврежденная таким образом древесина уязвима к факторам химической и биологической деструкции.

Бура и борная кислота, входящие в состав эковаты, обеспечивают устойчивость к возгоранию, из-за чего возможно только тление и удалении открытого пламени эковата сразу самозатухает. При этом важно, что эковата определенное время задерживает распространение огня через конструкцию. Объясняется это тем, что кристаллизационная вода антипиренов, освобождаясь при повышенной температуре, препятствует распространению огня. Одновременно с этим, при нагревании эковата не выделяет токсичных газов, как например, полимеры. Используемые антипирены являются нетоксичными и нелетучими компонентами.

Избыточная влага в жилых помещениях может мигрировать через слой эковаты и испаряться с ее поверхности, не скапливаясь в толще утеплителя и не снижая его теплозащитных свойств. Это объясняется полым строением древесных волокон, за счет чего при поглощении влаги пространство между волокнами остается сухим.

Также важным фактом является химическая инертность эковаты, что обуславливает отсутствие коррозии контактирующих с ней материалов.

Исследуемое здание, в котором применена эковата, имеет простую конфигурацию в плане, двухэтажное с неотапливаемым чердаком. Конструктивная схема – каркасно-щитовая (рис. 1). В качестве утеплителя всех ограждающих конструкций служит эковата. Толщина стены определена исходя из конструктивных требований и теплотехнического расчета. В качестве несущего каркаса выступали деревянные балки, 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 обтягивается пергамином с целью гидро- и ветроизоляции. Район строительства – г. Дивногорск Красноярского края.



Рис. 1. – Фото каркаса и фасада исследуемого здания (фото автора)

Таблица №1

Характеристики материалов наружной стены (составлено автором)

№ 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 (составлено автором)

№ 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	0,36	0,035
2	Эковата	0,22	38	0,038	3,94
3	Доска обрезная	0,025	500	0,7	0,036

Во время визуального осмотра во всех случаях 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. В обследуемом здании следов промерзания или смачивания эковаты не обнаружено.

Температура внутреннего воздуха во всех помещениях в течение периода измерения превышала стандартную. На момент запуска отопления разность значений температур между внутренним воздухом и температурой внутренней поверхности наружной стены превышала 10 °С.

Проведено исследование влажностного состояния деревянных каркасных стен и чердачного перекрытия. Произведен отбор проб эковаты из различных участков стены. Условия эксплуатации здания были довольно сложные: нерегулярное и непродолжительное отопление в холодное время года. На всех отобранных пробах материала следов развития плесени не обнаружено, сорбционная влажность составляла не более 16%.

Результаты лабораторных испытаний эковаты показали высокую сохраняемость плотности и коэффициента теплопроводности при длительной эксплуатации (табл. 3). После 8 лет эксплуатации в качестве утеплителя в деревянном каркасе эковата обладает практически теми же физико-техническими свойствами, что и образцы свежей эковаты не подвергавшейся эксплуатации. Следовательно, долговечность эковаты при утеплении наружных стен зданий в условиях резкоконтинентального климата при соответствующем конструктивном решении наружного и внутреннего слоев стены и отсутствии влаги значительно превышает 10 лет. Кроме того, стены

---

должны быть спроектированы с учетом условий недопустимости накопления влаги в теплоизоляционном слое в течение эксплуатации.

Таблица № 3

Значение характеристик для проб эковаты (составлено автором)

Характеристики	Значение характеристик для проб эковаты			
	современного производства	№1. Стена	№2. Стена	№3. Покрытие
Влажность, мас. %	11,2–13,5	12,9–14,7	11,9–12,8	11,6–13,1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	38	41	38	37
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,038	0,040	0,039	0,036

Также следует отметить, что сорбция не привела к появлению прослоек льда, как это характерно для минераловатных изделий. Объясняется это тем, что сорбированная молекулами целлюлозы вода является достаточно прочно связанной за счет образования водородных связей между молекулами воды и гидроксильными группами целлюлозы.

В результате технического обследования здания со сроком эксплуатации 8 лет дефектов и повреждений, связанных с эковатой, не выявлено. При этом здание эксплуатировалось в жестких условиях – циклическое кратковременное отопление в холодное время года. Для вертикально уложенной эковаты плотностью 38 кг/м<sup>3</sup> увеличение коэффициента теплопроводности составило 3,8%, что позволяет прогнозировать сохранение теплозащитных свойств в процессе эксплуатации. В случае прямого попадания воды на слой эковаты антипирен и антисептик вымываются, поэтому после подобных аварий (например протечек кровли) рекомендуется производить замену теплоизоляционного слоя для обеспечения пожарной безопасности. При этом намокание эковаты приводит к усадке до 30% по объему.

Для анализа стабильности свойств эковаты в процессе эксплуатации, а также определения ее срока службы были отобраны образцы из ограждающих конструкций. Плотность материала составила  $38 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $0,038 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$ .

Измерения плотности, влажности, коэффициента теплопроводности проведены по стандартным методикам. Измерения коэффициента теплопроводности проведены на ИТП-МГ4 в сухом состоянии. Измерения выполнены на 5 образцах.

Проведены испытания с целью определения воздействия влаги на характер изменения физико-технических свойств эковаты (рис. 2). Для этого образцы были размещены на поддоне, затем заливали воду с температурой  $20 \pm 5 \text{ °С}$  так, чтобы уровень воды был выше минимум на 10 мм поверхности образцов. В таком виде образцы выдерживали в течение 1 часа. После извлечения образцов из воды цикл повторялся через 24 часа. Во время поглощения воды образцы взвешивали через 2 часа, 1, 2 и 3 дня. Образцы в последующем высушивали в сушильном шкафу при температуре  $30 \text{ °С}$ , через 1 и 4 часа образцы взвешивали. Далее сушку продолжали в сушильном шкафу при температуре  $60 \text{ °С}$  и взвешивали через 1 и 4 часа.

Среднее водопоглощение образцов составило 198% по массе и 72% по объему.

Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации предусмотрены ветро- и пароизоляционные материалы. Поэтому такие значения водопоглощения теоретически не возможны. При этом влага в теплоизоляционный слой может попасть в случае повреждений гидроизоляции или при точке росы.

В лаборатории процесс сушки происходит в идеальных условиях с возможностью выхода влаги с поверхности образцов. Однако в реальных условиях эковата закрыта внутри ограждающей конструкции, поэтому

---

процесс сушки значительно ограничен. Эксперимент показывает влияние водопоглощения на образцы после их хранения в воде в течение 24 часов. Процесс сушки проводили в сушильном шкафу при температуре 30 °С в течение 10 часов. Значение водопоглощения снизилось с 198 до 143% по массе. Далее образцы эковаты высушивали при температуре не более 65 °С для предотвращения выделения кристаллической воды и деструкции кристаллической борной кислоты [8-10].

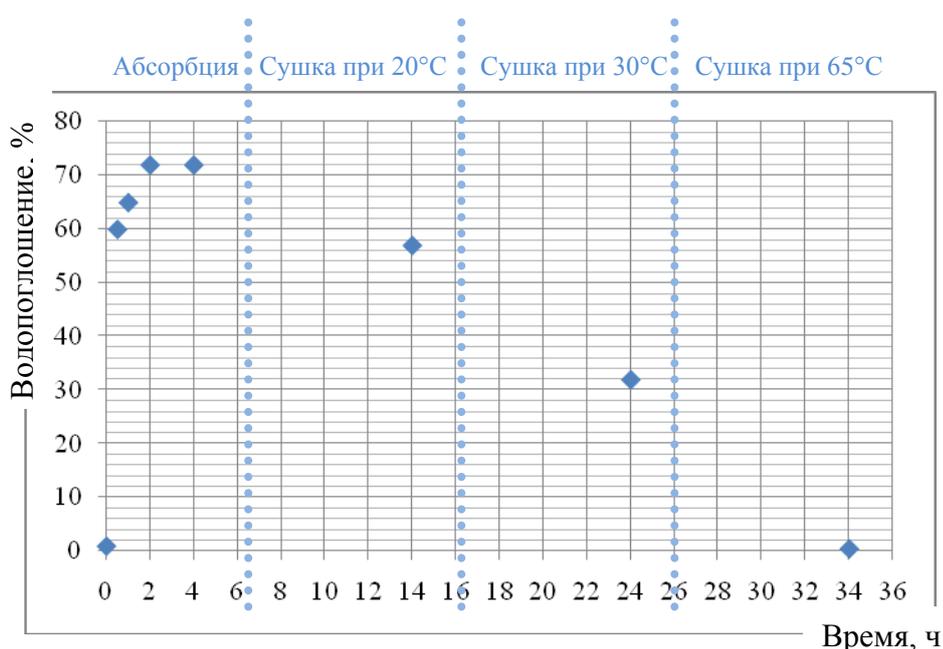


Рис. 2. – Динамика изменения содержания влаги в образцах (составлено автором)

Результаты исследований обрабатывали статистическими методами. В процессе выполнения исследований, установлено, что при содержании влаги более 20% эковата перестает выполнять свою теплоизолирующую функцию. Когда образцы эковаты высыхают, значения теплопроводности практически приближаются к исходным значениям. Однако, в условиях эксплуатации внутри ограждающей конструкции процесс сушки эковаты маловероятен.

В целом, исследования показывают, что выбор теплоизоляционного материала зависит от многих факторов и особенностей конкретного технического решения. Необходимо выбрать правильный теплоизоляционный материал для конкретных условий работы, строго следовать процессу производства определенного материала и уделять больше внимания задувке эковаты на строительной площадке во избежание полостей.

### **Выводы**

Проведен анализ физико-технических свойств эковаты, полученных в результате экспериментальных исследований.

В результате исследования установлено, что в слое эковаты обследованных каркасных стен и чердачного перекрытия влага не накапливается, а через утеплитель и элементы ограждающих конструкций выходит наружу.

Проведенные исследования позволяют прогнозировать сохранение теплозащитных свойств эковаты в процессе эксплуатации длительное время.

Однако для достоверной оценки долговечности необходимо проводить испытания на специальном стенде (макет вертикальной стены) и делать выборку образцов с разных мест по высоте конструкции. Для ускорения испытаний процесс старения и деструкции эковаты можно имитировать на стенде, что будет продолжено в следующей части работы.

### **Литература**

1. Urge-Vorsatz D., Cabeza L., Serrano S., Barreneche C., Petrichenko K., Heating and cooling energy trends and drivers in buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41 (2015), pp. 85–98.

2. Мошкова Е.А. Исследование теплотехнических свойств эковаты // Эволюция современной науки: сб. ст. междунар. науч. - практ. конф., Уфа, 15.04.2015 г.: в 2 ч. Ч. 1. – 2015. – С. 29–31.
3. Lopez Hurtado P. [et al.]. The properties of cellulose insulation applied via the wet spray process / Build. Environ. – 2016. – Vol. 107. – pp. 43–51.
4. 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.
5. Kwon Y.C., Yarbrough D.W. Cellulose Insulation for Use as Building Insulation in Korea. 2017. Vol. 70, № Amsce. pp. 75–79.
6. Майсурадзе Н.В., Трофимова Н.А., Петухова А.Г. Исследование теплофизических свойств эковаты в ограждающих конструкциях // Строительные материалы. – 2009. – № 8. – С. 48–49.
7. Salonvaara M., Pazera M., Karagiozis A. Impact of Weather on Predicting Drying Characteristics of Spray-Applied Cellulose Insulation // Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings XI. 2010. 14 p.
8. Еналеев Р. Ш. и др. Испарение влаги при пиролизе целлюлозных материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – №. 12. С.74-77.
9. Еналеев Р. Ш. и др. К теории зажигания целлюлозных материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 11. С.38-43.
10. Сивенков А. Б., Тарасов Н. И. Пожарная опасность древесины различных пород // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2008. – №. 1. – С. 14-28.

## REFERENCES

1. Urge-Vorsatz D., Cabeza L., Serrano S., Barreneche C., Petrichenko K. Renew. Sustain. Energy Rev. 41 (2015), pp. 85–98.
2. Moshkova, E.A. Evolyuciya sovremennoj nauki: sb. st. mezhdunar. nauch. - prakt. konf. Art. Int. scientific-practical conf., Ufa, 04/15/2015: at 2 p.m. Part 1. 2015. pp. 29–31.
3. Lopez Hurtado P. [et al.]. Build. Environ. 2016. Vol. 107. pp. 43–51.
4. Dubatovka A.I., Tverdokhlebov R.V. Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2018. № 8. pp. 67-81.
5. Kwon Y.C., Yarbrough D.W. Cellulose Insulation for Use as Building Insulation in Korea. 2017. Vol. 70, № Amsce. pp. 75–79.
6. Maysuradze N.V. Stroitel'nye materialy, 2009. №8. pp. 48–49.
7. Salonvaara M., Pazera M., Karagiozis A. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings XI. 2010. 14 p.
8. Enaleev R. Sh. Et al. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2015. Vol. 18. № 12. pp.74-77.
9. Enaleev R. Sh. Et al. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2012. Vol. 15. № 11. pp. 38-43.
10. Sivenkov A. B., Tarasov N. I. Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya, 2008. № 1. pp. 14-28.