

F 2824

Райнер Освальд (Rainer Oswald), Ральф Шпилькер (Ralf Spilker),
Рут Абель (Ruth Abel), Клаус Вильмес (Klaus Wilmes)

**Изменения состояния изоляционных
материалов из минеральной ваты в результате
воздействия влаги на примере плоской кровли**

Издательский дом
Fraunhofer IRB Verlag



Федеральный институт
строительных технологий,
градостроительства и
планирования

При Федеральном министерстве
по строительству и
территориальному
планированию ФРГ



F 2824

Данная публикация представляет собой копию заключительного доклада Федерального министерства транспорта, строительства и городского развития ФРГ (BMVBS), представленного в рамках исследовательской инициативы "Строительство будущего» ("Zukunft Bau"). Вычисления и рекомендации, приведенные в данном исследовании, отражают экспертное мнение авторов доклада. Позиции авторов приводятся без изменений и не обязательно отражают точку зрения спонсоров и организаторов исследования.

Настоящий доклад был подготовлен по индивидуальному заказу.

Оригинальные рукописи были переработаны технически, их содержание было оставлено без изменений. Качество печати зависит от технических свойств оригинальной рукописи, представленной автором или исследовательским центром.

© Издательство Fraunhofer IRB Verlag 2012

ISBN 978-3-8167-8772-3

Тиражирование, в том числе тиражирование фрагментов работы, допускается только с письменного разрешения редакции.

Издательство Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer - информационный центр по планированию и строительству

А/я 80 04 69 70504 Штутгарт

Nobelstraße 12 70569 Штутгарт, Германия

Телефон: 07 11 9 70 - 25 00 Факс: 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



ААХЕНСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ БРАКОВ И
ПРИКЛАДНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ
ПРОФ., Д-Р ТЕХН. НАУК РАЙНЕР ОСВАЛЬД (RAINER OSWALD), ДИПЛ.
ИНЖЕНЕР ГЮНТЕР ДАМЕН (GUNTER DAMMEN)

Изменения состояния изоляционных материалов из минеральной ваты в результате воздействия влаги



Заключительный доклад, май 2012 года

Изменения состояния изоляционных материалов из минеральной ваты в результате воздействия влаги на примере плоской кровли

Заключительный доклад, май 2012 года

При поддержке:	Федерального управления по строительству и территориальному планированию (г. Бонн, ФРГ), из средств исследовательской инициативы "Строительство будущего» ("Zukunft Bau")
Справочный номер:	Z 6 - 10-08-18.7 - 08.31 / II2-F20.08-08 Deutsche Rockwool GmbH & Co. OPIG, г. Гладбек
Под редакцией:	AlBau - Аахенский институт строительных браков и прикладной строительной физики GmbH, г. Аахен
Руководитель проекта:	Проф., д-р техн. наук Райнер Освальд (Rainer Oswald)
Авторы:	Дипл. инженер Ральф Шпилькер (Ralf Spilker), дипл. инженер Рут Абель (Ruth Abel), дипл. инженер Клаус Вильмес (Klaus Wilmes)
Исследовательский партнер:	FIW - Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, Мюнхен
Руководитель проекта:	Дипл. физик Йоханн Каммерер (Johannes Cammerer)
Рецензент:	Герхард Трайбер Михаэль Циммерманн (Gerhard Treiber Michael Zimmermann)

Ответственность за содержание настоящего доклада лежит на его авторах

Аахен, май 2012 года

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение	8
2. Конкретные примеры из практики	9
2.1 Объект 1: Крыша административного здания	9
2.2 Объект 2: Кровельные конструкции производственных цехов / складов	11
2.3 Объект 3: Кровельные конструкции промышленных цехов	16
2.4 Объект 4: Кровельная конструкция промышленного цеха	20
2.5 Объект 5: Производственный цех	22
2.6 Выводы из приведенных практических примеров	23
3. Минеральная вата и влагопередача	24
3.1 Определение понятия	24
3.2 Производство и структура изоляционных материалов из каменной минеральной ваты	24
3.3 Скопление влаги в минеральном волокне	27
4. Требования, установленные нормативными документами	30
4.1.1 DIN EN 13162:2009-02	30
4.1.2 DIN 4108-10:2008-06	30
4.1.3 Технический паспорт продукции ZVDH март 2004 года	31
4.1.4 Руководство по плоской кровле, 2008	31
4.1.5 Устаревшие нормативы	32
5. Стандартные испытания	33
5.1.1 Проверка на прочность/устойчивость к сжатию	34
5.1.2 Проверка на влагопоглощаемость	34
5.1.3 Теплопроводность и теплопередача	35
5.1.4 Прочность при разрыве и растяжении	38
5.1.5 Устойчивость к деформациям при определенной температуре и влажности	38
5.1.6 Обобщение рассмотренных методов испытаний	
5.2 Контроль качества от производителя	39
6. Отступление 1: Опасность материалов для здоровья и их утилизация	39
6.1 Опасность для здоровья	39
6.2 Утилизация	41
7. Отступление 2: Плотность материалов и расчетные нагрузки	42
8. Изменение состояния минераловатного изоляционного материала в плоской кровле	42
8.1 Влияние влаги на теплопроводные качества материала	42
8.2 Устойчивость к нагрузкам (проверка на прочность при сжатии)	44
8.3 Гигротермические нагрузки на минераловатный материал	46
8.4 Неприятный запах	47

9. Обзор продукции	48
10. Предположения относительно потери прочности	48
11. Опрос экспертов	50
11.1 Введение	50
11.2 Критерии принятия решения по возможной замене изоляционных материалов	51
11.3 Методы определения содержания влаги	53
11.4 Состояние изоляционных материалов, подвергшихся воздействию влаги	53
11.5 Воздействие многократных повторяющихся механических нагрузок	54
11.6 Повреждение механических креплений кровельного покрытия	54
11.7 Сушка минераловатных изоляционных материалов	54
11.8 Выводы по проведенным опросам	55
12. Опрос компаний, специализирующихся на высушивании зданий	56
12.1 Опрос и общие выводы	56
12.2 Интерпретация результатов опроса	58
13. Опрос производителей изоляционной продукции	59
14. Сравнение образцов минераловатного материала	60
15. Симуляция гигротермических процессов	61
16. Проверка устойчивости материалов к нагрузкам после проникновения влаги и в условиях температурных перепадов	66
16.1 Испытания практически сухих образцов изоляционного материала	68
16.2 Испытание образцов, подвергшихся различной степени воздействия влаги	70
16.3 Повторное испытание образцов, подвергнувшихся воздействию влаги, после их сушки	73
16.4 Двухступенчатый анализ образцов изоляционного материала	73
16.5 Сравнение полученных результатов	75
16.6 Обобщение и оценка результатов исследования	78
17. Выводы	80
Библиография	86

18. Введение

Целью настоящего исследования является объективная оценка последствий проникновения влаги в слои изоляционного материала из минеральной ваты на примере теплой плоской кровли. В рамках настоящего исследования воздействие влаги оценивалось с точки зрения прочности («долговечности») и теплопроводности материалов. При этом рассматривались исключительно изоляционные материалы, закрепленные выше несущей конструкции и регулярно подвергающиеся определенным нагрузкам во время эксплуатации. Изоляция деревянных стропильных систем не соответствует этим требованиям, ввиду чего данный тип изоляции не рассматривался в рамках настоящего исследования.

Предстояло выяснить, при каких граничных условиях (продолжительность и степень проникновения влаги, состав минеральной ваты) скопление влаги приводит к значительным повреждениям изоляционного материала. Также следовало определить, при каких обстоятельствах материал еще возможно высушить (в естественных климатических условиях или посредством принудительной сушки), а в каких случаях необходима замена изоляционной системы. Перед исследователями стояла задача найти определенные граничные значения, которые позволят проводить объективную оценку состояния материалов в спорных случаях. Наконец, преследовалась цель обеспечения продолжительности службы и рентабельности изоляционных материалов, эксплуатацию которых можно будет продолжить и после единичных случаев воздействия влаги.

В первую очередь, были проанализированы имеющиеся работы и исследования по проникновению влаги в минераловатные изоляционные материалы. Было проведено полномасштабное анкетирование экспертов, занимающихся вопросом воздействия влаги на утеплители из минеральной ваты. Ряд образцов плоской кровли с минераловатной изоляцией, уже подвергшихся воздействию влаги, был повторно проанализирован в рамках настоящего исследования. С крыш снимались образцы теплоизоляционных материалов, которые затем проверялись на содержание влаги, прочность, толщину и наличие структурных изменений. Параллельно проводились лабораторные исследования долгосрочного воздействия влаги на аналогичные образцы. При этом документировались все изменения теплоизоляционных материалов, в первую очередь изменения их прочностных качеств.

Проведение научных исследований в сфере строительства невозможно без тесного сотрудничества со специалистами, которые могут оценить результаты практических испытаний с точки зрения их знаний и опыта. Мы выражаем благодарность всем тем, кто принял участие в наших опросах, и особенно тем, кто оказал дополнительную поддержку, пообщавшись с нами по телефону и отправив нам дополнительные материалы и документацию.

2. Конкретные примеры из практики

В рамках настоящего исследования на конкретных примерах делается попытка доказать несостоятельность распространенного подхода, в соответствии с которым минераловатные изоляционные материалы, подвергшиеся проникновению влаги, в большинстве случаев подлежат замене.

2.1 Объект 1: Крыша административного здания

Уже во время строительных работ на нижней поверхности кровли крупного административного здания, построенного в начале 2006 года, были отмечены следы протечек. Потолочная конструкция здания была выполнена из железобетона (пролёты 5 и 7,30 м); была установлена теплая кровля.



Рис. 1 и 2. Установленные на кровле климатические установки

Изоляция была выполнена из нескольких слоев битумного полотна. Для обеспечения пожарной безопасности кровельная конструкция была частично изолирована минераловатным материалом толщиной до 23 см.

По всей поверхности кровли были установлены кондиционирующие приборы (см. Рис. 1 и 2). Приборы были размещены на стальной балке, крепившейся на бетонном основании на квадратных опорах. Края опор были окантованы гидроизоляционным материалом.

После обнаружения протечек были приняты следующие меры:

В некоторых частях кровли был полностью заменен теплоизоляционный и уплотнительный материал; в других частях была лишь заново оклеена гидроизоляция. Было установлено в общей сложности 15 вентиляционных установок. Вентиляторы могут открываться сверху, благодаря чему обеспечивался регулярный контроль за состоянием пароизоляции и своевременное обнаружение влаги в случае возникновения новых протечек. После завершения строительных работ в июне 2006 года, участок крыши был затоплен с целью проверки его герметичности. При этом было зафиксировано новое скопление влаги на паровом заслоне; вода начала протекать внутрь здания.

В рамках дальнейших проверок в нескольких местах были сняты образцы теплоизоляции; было установлено содержание в них влаги. Полученные показатели представлены на Рис. 3.

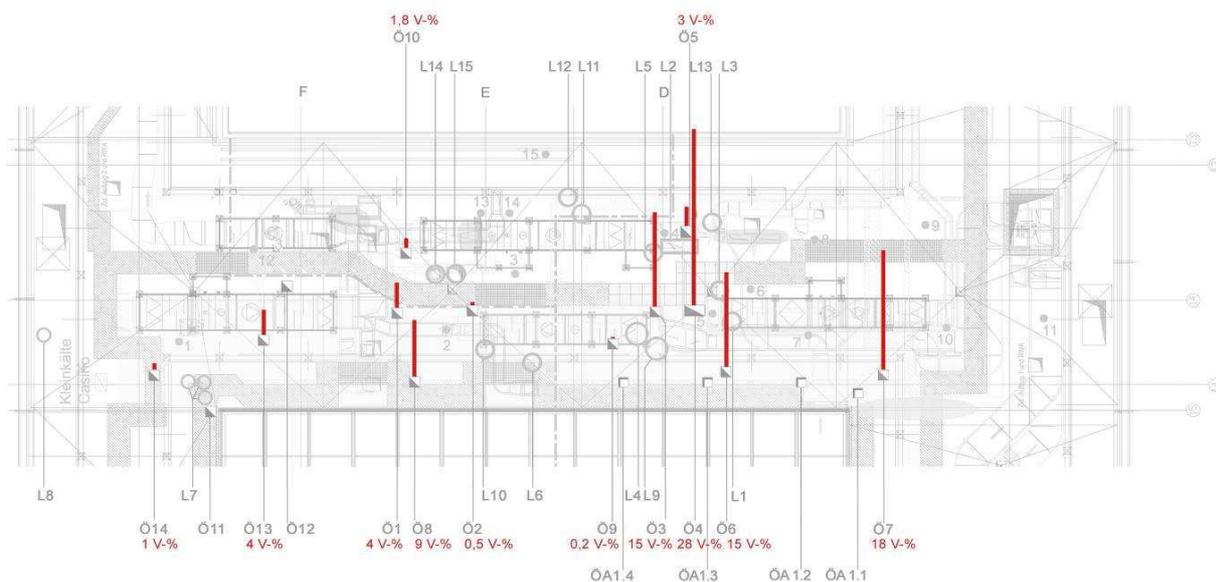


Рис. 3. План кровельного покрытия Объекта 1 с местами протечек и данными по содержанию влаги в изоляционном материале в vol-% (красным цветом)

В образцах была зафиксирована крайне высокая концентрация влажности. В соответствующем отчете были задокументированы значения от 1,6 до 167 т% (от 0,2 до 28 vol-%) (см. Рис. 3).

Ни одного скопления стоячей воды зафиксировано не было; поверхность материала была лишь слегка влажной. Таким образом, вода в местах протечек полностью стекла вниз по сечению парового заслона.

Образцы материала снять удалось только у осей. При этом учитывалось, что содержание влаги в изоляционном материале в труднодоступных низких точках потолочной конструкции было более высоким.

На основе более ранних исследований минераловатных материалов с более низкой плотностью было приблизительно подсчитано, что теплопроводность материала в трех наиболее влажных местах увеличилась более чем в два раза. При этом не менее чем в два раза увеличилась и теплоизоляция кровли.

Прочность изоляционного материала на момент снятия образцов, по всей видимости, была еще относительно высокой. Тем не менее, было непонятно, продолжатся ли структурные изменения в изоляционном материале в дальнейшем, по мере накопления влаги, и продолжат ли уменьшаться его прочность и теплоизоляционные свойства.

В данном случае при ремонте кровельной конструкции и восстановлении изоляционного материала потребуется не только полная замена гидроизоляции, но и демонтаж системы кондиционирования и вентиляции. При проведении данных ремонтных работ эксплуатация здания была бы ограничена на неопределенное время.

Также встал вопрос о том, можно ли оставить фрагменты пропитанного влагой минераловатного утеплителя в труднодоступных местах. В этой связи необходимой представляется разработка объективных критериев оценки возможных технических ограничений, позволяющих не демонтировать фрагменты изоляции и, по возможности, определение их минимальных значений. Для этого необходимы данные по долгосрочным изменениям свойств изоляционных материалов. На момент вынесения соответствующего решения по данному административному зданию такие критерии оценки отсутствовали.

2.2 Объект 2: Кровельные конструкции производственных цехов / складов

Производственные и отгрузочные цеха и склады пивоваренного завода были построены в 1999 году. В 2008 году кровля, ранее облицованная с листовым металлом, была утеплена полотнами изоляционного материала; на ее поверхности были смонтированы солнечные фотоэлектрические установки.

Конструкция состояла из трапециевидного листового металла, поверх которого (в зависимости от типа здания) была проложена битумная пароизоляция с алюминиевой прокладкой или полиэтиленовая пленка ПВД (LDPE). При строительстве использовалась минераловатная изоляция немецкого производителя Rockwool типа Durock. Поверхность была покрыта изоляционным материалом FPO 1,8 мм толщиной.

Фотоэлектрические элементы были установлены таким образом, что несколько близкорасположенных элементов крепились на алюминиевые профили, концы которых принимали на себя их нагрузку на кровельное покрытие. Опоры были зафиксированы на кровельном покрытии в районе подшивки.

Уже во время монтажа произошло повреждение кровельного покрытия и самих фотоэлектрических элементов. Также в ходе проверки было обнаружено размягчение слоистого пакета.

Эксперт, консультировавший владельца здания, порекомендовал заменить гидроизоляционную систему, что подразумевало и демонтаж элементов фотоэлектрической установки.



Рис. 4 и 5. Установка фотовольтаических элементов (фото: LGA) и вид кровельного покрытия после их демонтажа

Был проведен ряд дополнительных проверок с целью оценки необходимого объема работ по демонтажу и замене изоляционных материалов. Для страховой компании, обеспечивавшей финансирование фотоэлектрических элементов, отчета об объеме восстановительных работ, сделанного на основе обычного осмотра, было недостаточно. Ввиду этого, семь образцов изоляционного материала были отправлены в лабораторию FIW в Мюнхен с целью точного определения прочности материалов и содержания в них влаги. (Результаты испытаний данных материалов на прочность приводятся в отчете FIW "Образцы с кровли № 3" в Приложении к настоящей работе)

Перед снятием образцов, была замерена глубина оседания материала. Для этого на участках кровли, с которых должны были сниматься образцы, разместили фрагменты плит ДВП размером с ботинок (см. Рис. 6 и 7). Рядом с ними закрепили прямоугольную алюминиевую трубку (водный уровень) 80 см длиной. После плиты ДВП утяжелили весом человеческого тела. Образовавшаяся деформация кровельного покрытия была зафиксирована штангенциркулем посредством измерения разницы между нижним краем алюминиевой трубы и кровельным покрытием.



Рис. 6 и 7. На самых мягких участках был сделан замер степени деформации посредством твердой волокнистой плиты и алюминиевой трубы (водяной уровень). На фото справа – участок с самой значительной деформацией (прим. 33 мм)

Значения показаний, снятых в указанных местах кровельного покрытия, варьировались в пределах примерно 3 мм (в зависимости от изменения веса плит ДВП). Несмотря на неточность полученных данных, они подтверждали первичные предположения экспертов относительно прочности изоляционного материала.

Расположение протечек и данные по деформации материала были внесены в отчет, отрывок которого представлен на Рис. 8.

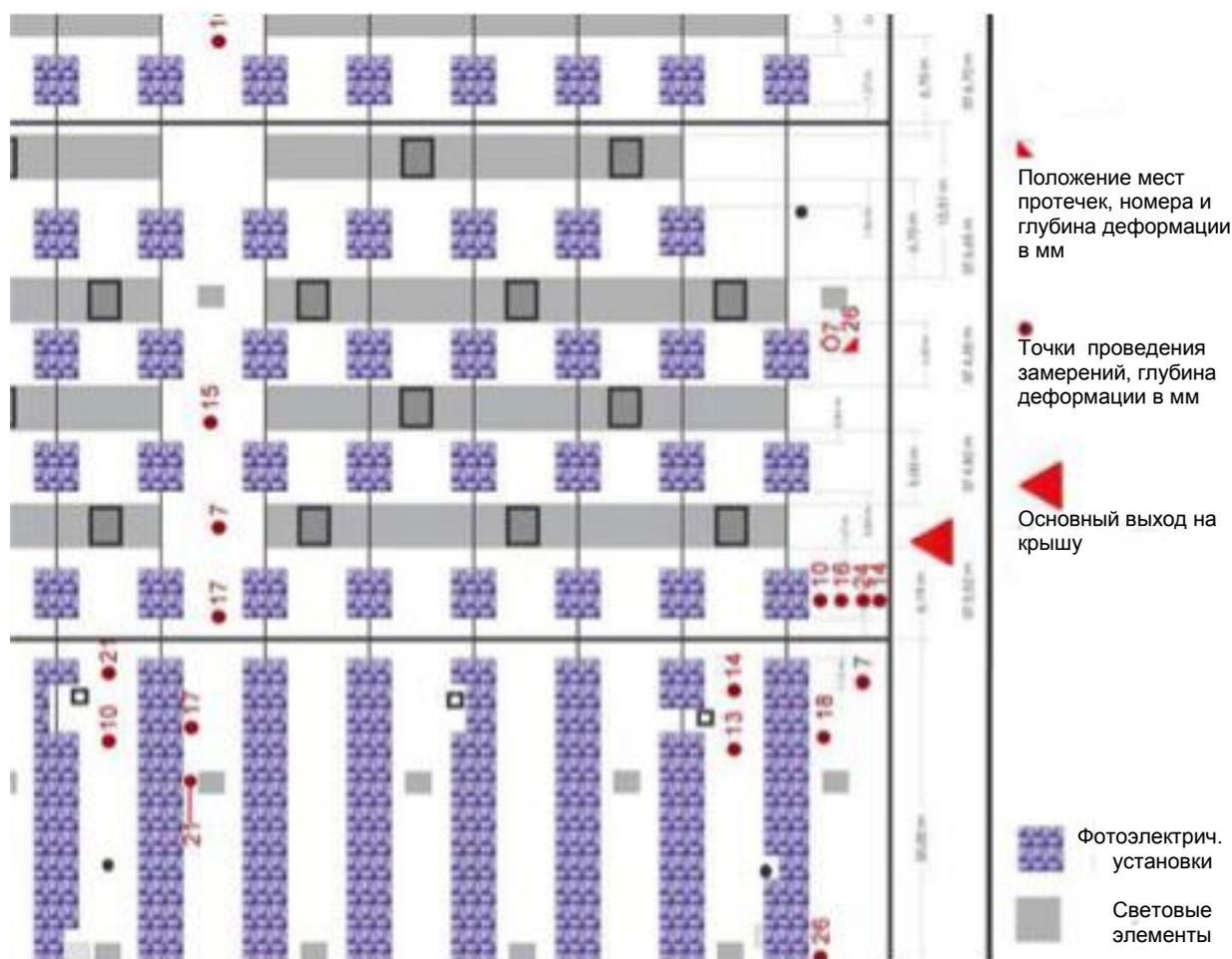


Рис. 8. План измерений мест деформации изоляционного материала

Ввиду того, что образцы были сняты с нескольких участков кровли, лабораторные исследования привели к разным результатам. Было измерено состояние как не имевших значительных изменений, так и сильно деформированных на момент осмотра образцов. В основном анализировались образцы, снятые с участков, подвергавшихся частой механической нагрузке при эксплуатации кровли. Прочность материалов (их устойчивость к нагрузкам) при сжатии 10% находилась в диапазоне между 68,3 кПа и 2,6 кПа.

Лишь в одном образце было зафиксировано значительно содержание влаги, составившее 3,1 m%. Для остальных образцов максимальные значения содержания влаги лежали в пределах 1 m% (см. Рис. 9 и Рис. 10).

На следующей схеме показано соотношение между показателями испытаний на прочность, установленными в лабораторных условиях (зеленые полосы, положительные значения) и фактическими показателями деформации кровельного покрытия (красные полосы, отрицательные значения):

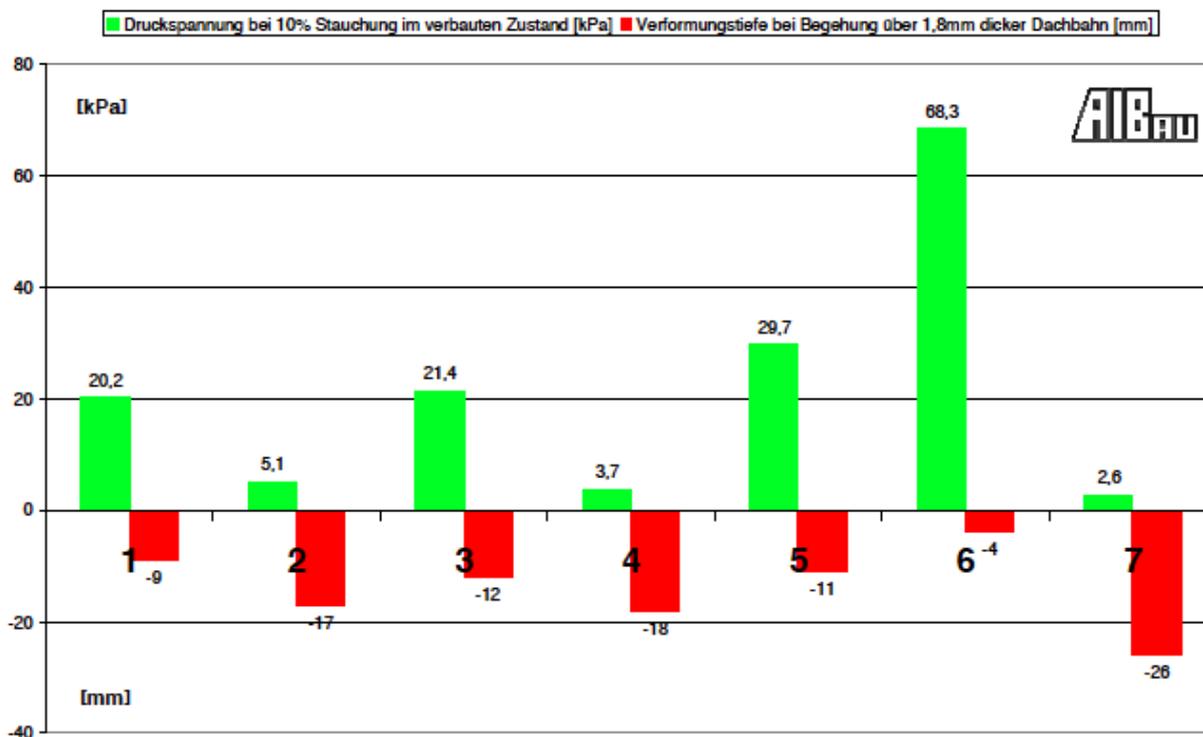


Рис. 9. Изоляционные плиты из минеральной ваты, часто подвергающиеся механическим нагрузкам: сопоставление лабораторных испытаний на прочность при сжатии 10% (зеленые показатели) и фактической деформации кровельного покрытия 1,8 мм толщиной (красные показатели).

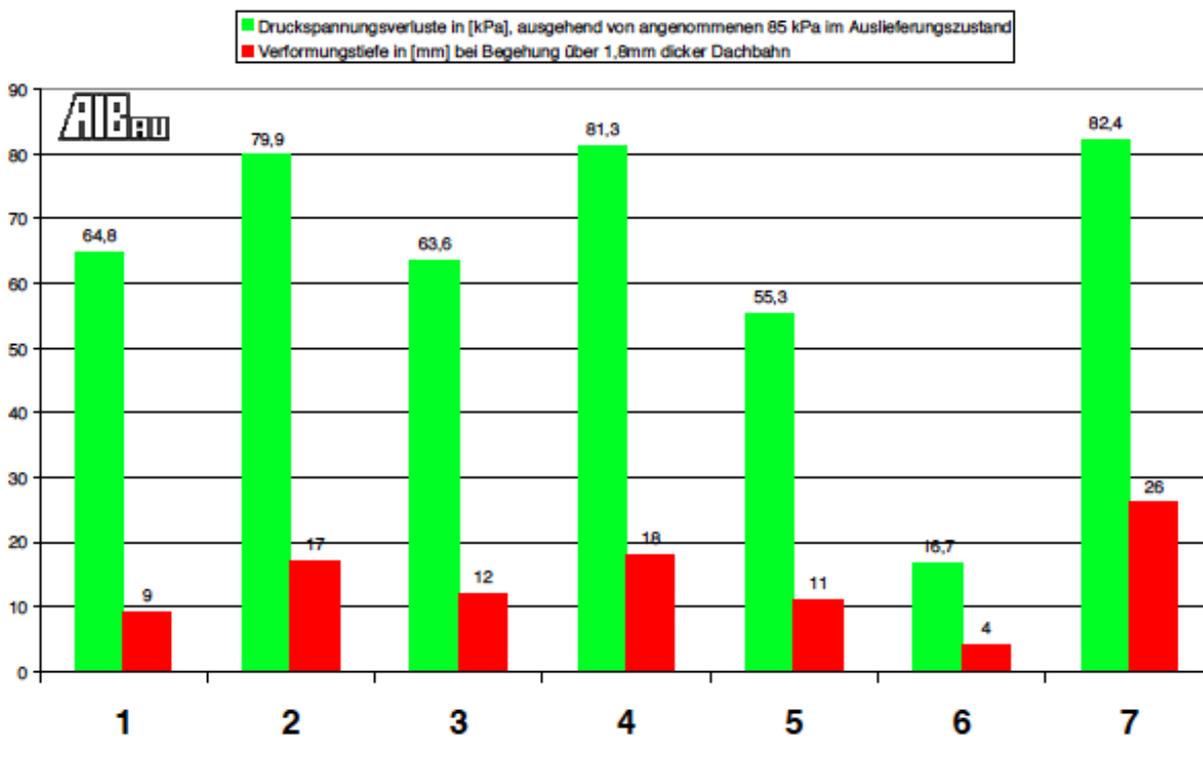


Рис. 10. Изоляционные плиты из минеральной ваты, часто подвергающиеся механическим нагрузкам: сопоставление потери прочности при сжатии 10% (зеленые показатели, в кПа) и фактической деформацией материала (красные показатели, в мм) в 7 местах.

В основном подтвердилось следующее предположение: чем выше устойчивость материалов к нагрузкам, установленная в рамках лабораторных испытаний при сжатии 10%, тем ниже масштаб их фактической деформации. На основе столь точно подтвердившейся закономерности можно было сделать вывод о том, что при оценке деформации кровельных материалов можно было ориентироваться на результаты их испытаний при сжатии 10%.

Тем не менее, в рамках дальнейших исследований возникли разногласия о том, при каких показателях прочности требуется обязательная замена минераловатного материала. В качестве ориентира было предложено использовать показатели Участка 1, самого характерного участка кровли, еще не подвергшегося деформациям. Данное предложение основывалось на субъективном мнении ряда экспертов при оценке состояния кровельного покрытия. Однако тот факт, что полученные показатели прочности были значительно ниже стандартных, не позволяет считать такой подход приемлемым. Сам производитель изоляционного материала в телефонном разговоре сослался на минимальное приемлемое значение в пределах 35 кПа.

Против приемлемости данного показателя говорит и тот факт, что измерение прочности при сжатии 10% всего лишь показывает, с какой силой изоляционный материал толщиной 100 мм может оказывать давление на материал толщиной 90 мм при их сжатии. Если изоляционный материал возвращается к своей первоначальной толщине в 100 мм после данного испытания, т.е. если эта деформация обратима, то изоляционные свойства данного материала ничем не нарушаются. Уменьшается лишь степень устойчивости материала к оказываемым механическим нагрузкам. Таким образом, если изоляционный материал еще не подвергался подобным нагрузкам, то этот показатель не может быть основным критерием, от которого будет зависеть решение о замене материала. Следовало бы исследовать и другие кровельные поверхности и определить, не имеют ли они похожих показателей после 3 лет аналогичных нагрузок; только в этом случае данные показатели можно было бы считать стандартными. Пока ни одного такого исследования проведено не было, решение признать в качестве универсального стандарта показатель прочности материала при сжатии 10% следует считать произвольным и необоснованным. Сомнения вызывает, можно ли обоснованно требовать от кровельного предприятия (или производителя солнечных панелей) восстановления кровельного покрытия, если размер понесенного ущерба был оценен на основе абстрактного показателя, признанного стандартом.

Соответствующее решение должно приниматься на основе конкретного состояния кровли: какая степень деформации и какие ожидаемые/прогнозируемые нагрузки могут привести к реальному ущербу кровельного покрытия? Реальными причинами ущерба могут стать, в частности, повреждения креплений системы водостока, превышение нагрузки на несущие конструкции и края кровельного полотна, протечки или повреждения системы освещения. Безусловно, необратимое утончение материала также следует признать браком, т.к. при этом, помимо очевидного физического повреждения материала, снижаются и его теплоизоляционные свойства.

В данном случае повреждений и браков, исключающих возможность дальнейшей эксплуатации здания, зафиксировано не было.

2.3 Объект 3: Кровельные конструкции промышленных цехов

Построенная в 2002 году кровельная поверхность крупного комплекса промышленных цехов и складских помещений была выполнена из трапециевидного листового металла; теплая кровля была выполнена из пароизоляционного материала РЕ, минераловатного изоляционного слоя 8 см типа Rockwool Durock и одного слоя изоляции из полиизобутилена PIB.

При приемке строительных работ были обнаружены мягкие участки в районе желобов и строительные недостатки под крышными окнами.

В рамках сбора доказательств для судопроизводства были зафиксированы отверстия в слоистом пакете, в ходе осмотра которых было также обнаружено, что система пароизоляции не была установлена должным образом. В первую очередь по этой причине судебный эксперт вынес заключение о том, что данная кровельная конструкция не отвечает принятым в строительной практике требованиям и не подлежит дальнейшей эксплуатации. Большая часть конструкции не подлежала замене, система пароизоляции должна была быть установлена заново.

Одновременно с судебными разбирательствами, в 2006 году с данной кровли были сняты образцы изоляционного материала для их проверки на предмет содержание влаги. При этом были зафиксированы как сухие (содержание влаги в утеплителе 0,2-0,5 т%), так и влажные образцы с средней влажностью около 30 т%. Ввиду неоднородного распределения влаги внутри изоляционного материала на момент сбора образцов они были нарезаны по горизонтали. Так, содержание влаги в образце, снятом в солнечный летний день, в верхнем пределе составило 0,3 т%, в нижнем - 64 т%. В нижнем пределе было зафиксировано скопление воды (в углублении металлического листа, т.е. в закрепленном на нем изоляционном материале). Диапазон содержания влаги в снятом в тот же день образце составила 3 т% в верхнем пределе и 48 т% в нижнем. В данном образце было отмечено присутствие влаги, но не открытое скопление воды. Последний образец изоляционного материала был очень мягким на ощупь.



Рис. 11. План кровельного покрытия с указанием мест протечек и данными по содержанию влаги в изоляционном материале.

Снятые образцы изоляционных плит в основном не имели признаков деформации; были отмечены лишь небольшие изменения структуры их поверхности. Верхнее заводское рифление плит было хорошо различимым в т.ч. у материалов с самым высоким содержанием влаги (0,3 m% в верхнем и 64 m% в нижнем пределе).

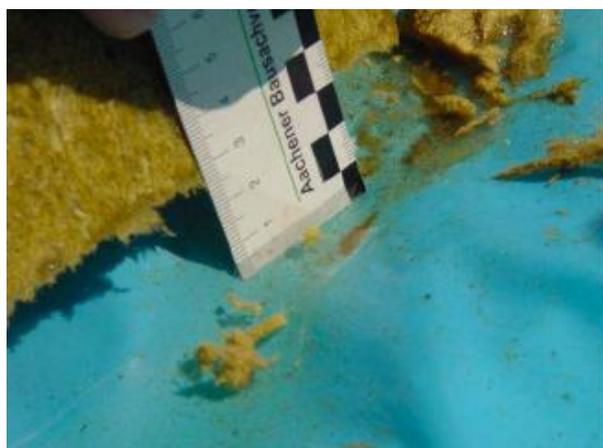


Рис. 12 и 13. Места протечек и влажный изоляционный материал, погруженный в воду на 4 мм.

В верхней части парового заслона было зафиксировано скопление воды; при этом измеренное в лаборатории содержание влаги в образцах не превышало 0,3 т% (напр. для образца 12.1). Ввиду того, что образцы были сняты летом, можно предположить, что экспертами был зафиксирован конденсат, образовавшийся в результате обратной диффузии.



Рис. 14 и 15. Места снятия образцов и конденсат на пароизоляционной пленке

Осенью были сняты образцы с другого участка кровли. Содержание влаги в них составило 139 и 152 т%; на других участках кровли были засвидетельствованы сухие фрагменты изоляционного материала с содержанием влаги от 0,4 до 0,7 т%.

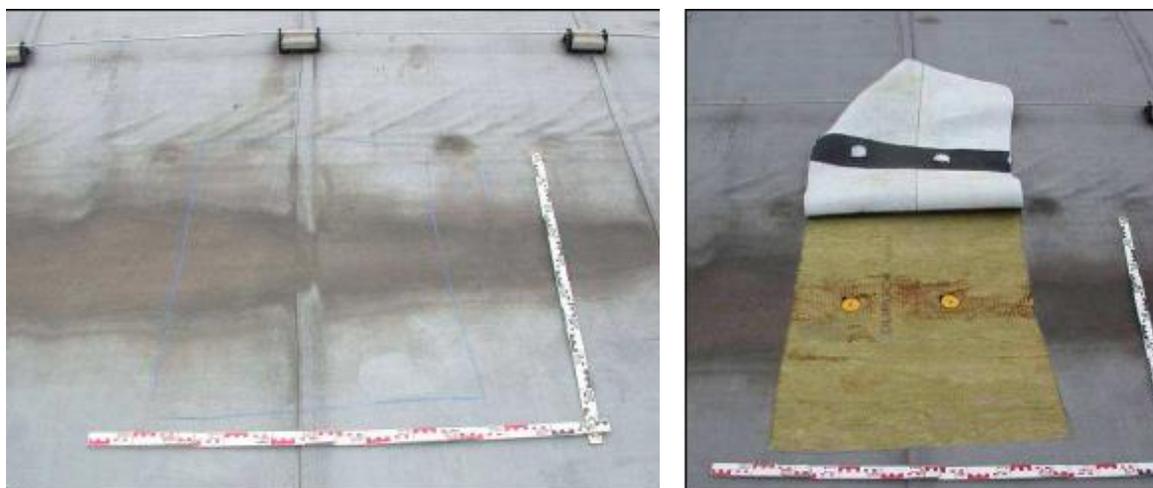


Рис. 16 и 17. Место снятия образцов в области желоба с давно скопившейся водой

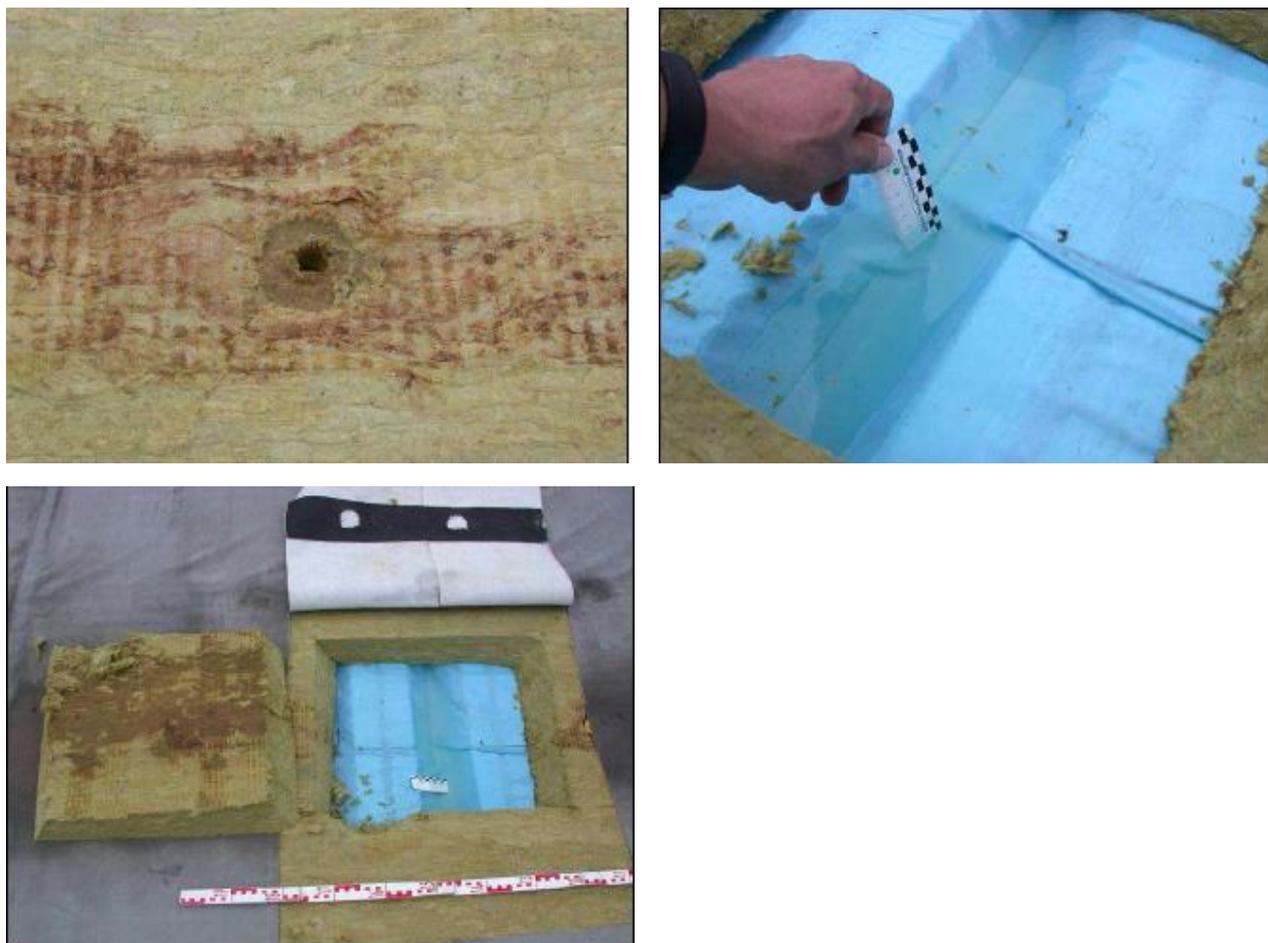


Рис. 18, 19 и 20. Подвергшиеся сильному воздействию влаги образцы изоляционного материала в углублении со стоячей водой

Высокое содержание влаги в основном отмечалось в образцах, снятых с участков на изгибах и желобах, со скоплением стоячей воды; сухие образцы фиксировались вблизи системы освещения. Было сделано предположение о том, что потеря прочности изоляционных материалов, как правило, вызывается механическими нагрузками сверх установленной нормы (проведение строительных работ на кровле). При этом не было четких критериев оценки, при каких условиях высокое содержание влаги может повлиять (в кратко- или долгосрочной перспективе) на возможность продолжения эксплуатации изоляционного материала.

Проверка теплопроводности трех наименее прочных образцов показала, что даже при достаточно низком содержании влаги на момент их снятия их теплоизоляционные свойства не пострадали (см. отчет FIW "Образцы с кровли № 1" в Приложении). Утончения образцов также выявлено не было.

Образцы	Теплопроводность, Влага	Проверка на прочность при сжатии 10%	Содержание влаги	Толщина	Плотность в сухом состоянии
№	Вт/(мК)	кПа	т%	мм	кг/м ³
1	0,0378	43,5	0,13	89,0	145
2	0,0379	25,3	0,20	140	
3	0,0383	28,4	0,07	91,0	127

2.4 Объект 4: Кровельная конструкция промышленного цеха

Крыша производственного цеха была построена в 2010 году. Сначала на двустороннем скате плоской кровли был установлен световой проем, затем на кровельной поверхности были закреплены солнечные фотоэлектрические установки. Эти элементы были установлены на конструкции, уплотненная опора которой сообщается с кровельной конструкцией.



Рис. 21. Кровельное покрытие со световыми установками и солнечными фотоэлектрическими установками.



Рис. 22. Место протечки 3 и в основном сухой изоляционный материал (воздействию влаги подверглась верхняя поверхность)



Рис. 23. Образец 1 с высокой прочностью (устойчивостью к нагрузкам)



Рис. 24. Образец 5 со сниженной прочностью (устойчивостью к нагрузкам)

Теплая кровля выполнена из следующих изоляционных слоев (сверху вниз):

- Панели из мягкого ПВХ,
- Теплоизоляционный минераловатный материал толщиной 12 см,
- Полиэтиленовая пленка ПЭ в качестве парового заслона,
- Фрагмент трапециевидного листового металла.

При приемке строительных работ были обнаружены мягкие участки под кровельным покрытием. Проводивший освидетельствование эксперт объяснил значительные различия в уровне изоляционных материалов процессом оседания. Затем были обнаружены открытые места в кровельном материале; было проверено состояние минераловатного утеплителя.

Образцы изоляционного материала были проверены на прочность при сжатии 10% в НИИ FIW в Мюнхене. (Результаты исследования приводятся в отчете FIW "Образцы с кровли №2" в Приложении) Исследования подтвердили первичные предположения эксперта относительно прочности анализируемых образцов: полученные значения в целом соответствовали составленной ранее классификации образцов. Тем не менее, средние показатели были значительно ниже ожидаемых.

Было произведено замерение следующих показателей:

Классификация с точки зрения эксперта	Предварительная оценка эксперта	Проверка на прочность при сжатии 10%, в кПа	№ открытого места (проема)
0	Сохранение свойств, характерных для еще не эксплуатир. материалов	-	-
1	Деформаций не обнаружено, нет существенного уменьшения прочности	53,3	1
2	Деформаций не обнаружено, уменьшение прочности материала при сжатии незначительное	28,5	2
3	Существенное уменьшение прочности материала при сжатии, но еще возможна эксплуатация	16,1	4
4	Эксплуатации не подлежит	9,0	3
		2,3	5

Рис. 25. Сопоставление субъективной оценки экспертов и измерения устойчивости Объекта 4 на прочность при сжатии 10% (в кПа)

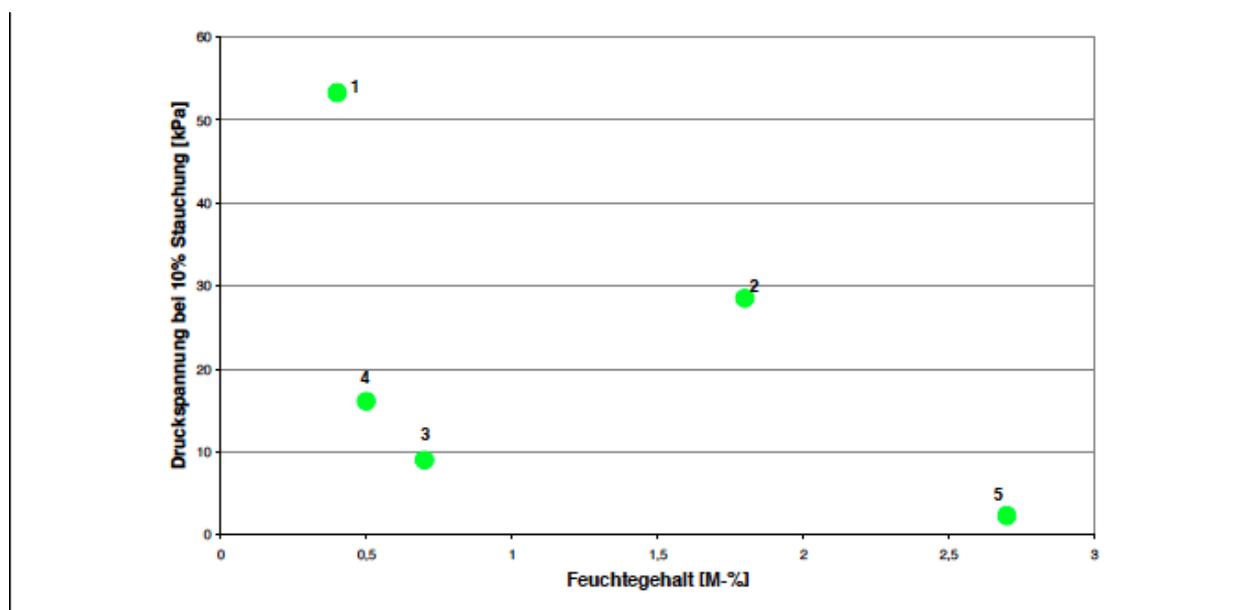


Рис. 26. Содержание влаги (m%) и показатели прочности минераловатных материалов с Объекта 4 при сжатии 10% (в кПа)

Содержание влаги в испытанных образцах было достаточно низким. Взаимосвязи между содержанием влаги и снижением прочности материала установлено не было.

Гораздо более вероятной представляется взаимосвязь между потерявшими устойчивость к нагрузкам образцами и месторасположением открытых участков (проемов), т.е. большее значение имеет частота механических нагрузок на участок кровли во время строительных работ. Так, под установленными фотоэлектрическими элементами, которые были подняты и установлены на крышу при помощи крана, большая механическая нагрузка не оказывалась. На этом участке была отмечена самая высокая прочность изоляционного материала. В свою очередь, наименее устойчивыми к нагрузкам были образцы, снятые ближе к главному выходу на кровельное покрытие и на основных участках вокруг световых проемов.

Пример объекта №4 показал, что изоляционные материалы подвергаются намного большему ущербу не за счет уровня влажности, а за счет оказываемой на них механической нагрузки. Помимо этого, очевидно, что пригодность материалов к эксплуатации оценивается в данном случае значительно выше, чем на основании лабораторных испытаний на прочность при сжатии 10%.

2.5 Объект 5: Производственный цех

Еще два образца было снято с объекта, где было зафиксировано сильное повреждение небольшого участка кровли. Образцы были сняты с кровли, построенной 5 лет назад, примерно через год после первичного обнаружения

повреждения (один образец с низким и один образец с высоким содержанием влаги).

Несмотря на то, что устойчивость влажного образца к нагрузкам была примерно на 12% ниже устойчивости сухого образца, его показатель все равно составил 59,4 кПа (см. Приложение: отчет FIW "Образцы с кровли №4."). Полученное значение лишь немного не дотягивает до стандарта производителя по прочности материала при сжатии 10%, составляющего 60 кПа.

С момента монтажа кровли на ней не проводились никакие дополнительные работы, ввиду чего механическую нагрузку на изоляционный материал можно считать стандартной для кровли, еще не находившейся в эксплуатации.

Образцы	Проверка на прочность при сжатии 10%	Содержание влаги	Толщина	Плотность в сухом состоянии
№	кПа	т%	мм	кг/м ³
1	67,5	2,7	119,7	160
2	59,4	84,0	118,2	176

Приведенный пример показывает, что высокое содержание влаги в минераловатном утеплителе не имеет существенного значения для пригодности изоляционного материала к эксплуатации.

2.6 Выводы из приведенных практических примеров

Из выше приведенных примеров можно сделать два основных вывода:

- Содержание влаги в изоляционных материалах из минеральной ваты - в определенных пределах - нельзя считать единственным основанием для необходимой замены материала. Непосредственное воздействие содержания влаги на свойства утеплителя не удалось ни установить (какие структурные изменения материала вызываются скоплением влаги?), ни измерить (как при этом меняется устойчивость материала к нагрузкам и его теплопроводность?). Также не были установлены долгосрочные последствия воздействия влаги (влияет ли содержание влаги на срок жизни материала?).

- Устойчивость находящегося в эксплуатации минераловатного материала к нагрузкам зависит от интенсивности механических нагрузок на материал, т.е. от регулярной эксплуатации «не предназначенных для использования» поверхностей. На сегодняшний день еще не были определены соответствующие предельные значения. Также необходимо точнее определить, при каких обстоятельствах можно давать экспертную оценку об ограничении эксплуатационных свойств изоляционного материала.

Необходимым представляется:

- как можно быстрее определить приемлемый уровень содержания влаги и

- предельное значение прочности (устойчивости материалов к нагрузкам).

Возможным решением данного вопроса представляется составление типологии изоляционных материалов из минеральной ваты в зависимости от места их крепления на кровельном покрытии.

На сегодняшний день определение состояния кровельных поверхностей с минераловатной изоляцией производится исключительно на основе субъективных оценок специалистов.

Целью настоящего исследования стал поиск объективных критериев для проведения таких оценок. В продолжение представлены критерии и стандарты, применяющиеся на практике на сегодняшний день.

3. Минеральная вата и влагопередача

3.1 Определение понятия

В устаревшем стандарте [DIN 18165-1:1991-07], под «изоляционными материалами из минеральных волокон» понимались *«искусственные минеральные волокна из силикатного сплава (напр., стеклянный, каменный шлаковый расплав) со связующим волокном или без него»*. Данное определение противопоставлялось «растительным изоляционным материалам» (кокос, дерево, торфяное волокно).

В Европейском стандарте от 2011 г. [DIN EN 13162:2001-10] широко используемый в настоящее время термин «минеральное волокно» определяется следующим образом: *«Изоляционный материал с волокнистой текстурой, производимый из расплавленной горной породы, шлака или стекла»*.

Также проводится разграничение по основному исходному материалу, используемому для расплава. В основном различают минеральную вату из камня и стекла. Также выделяют шлаковую минеральную вату, не имеющую значительной доли на рынке.

Очень полное, схематическое представление процесса изготовления минваты и описание ее компонентов представлено на сайте Ассоциации производителей материалов из минеральной ваты [www.fmi-mineralwolle.de].

Связующий материал придает стекловате желтоватый, а каменной вате серо-коричневый оттенок.

В рамках настоящего исследования рассматривались исключительно материалы из каменной минеральной ваты, используемые для утепления плоской кровли.

3.2 Производство и структура изоляционных материалов из каменной минеральной ваты

Производство каменной ваты описывается производителем Rockwool следующим образом:

«Каменная вата производится посредством плавки камня, известняка,

переработанных формованных кирпичей и других сырьевых материалов при 1.500В в коксовой печи.

На следующей стадии производства жидкому каменному расплаву придается волокнистая форма. В материал добавляются связующие вещества и пропиточное масло, что обеспечивает надежность и водоотталкивающие свойства готовой продукции. Затем каменная вата вновь нагревается до примерно 200°C, чтобы скрепить связующие вещества и стабилизировать свойства материала».

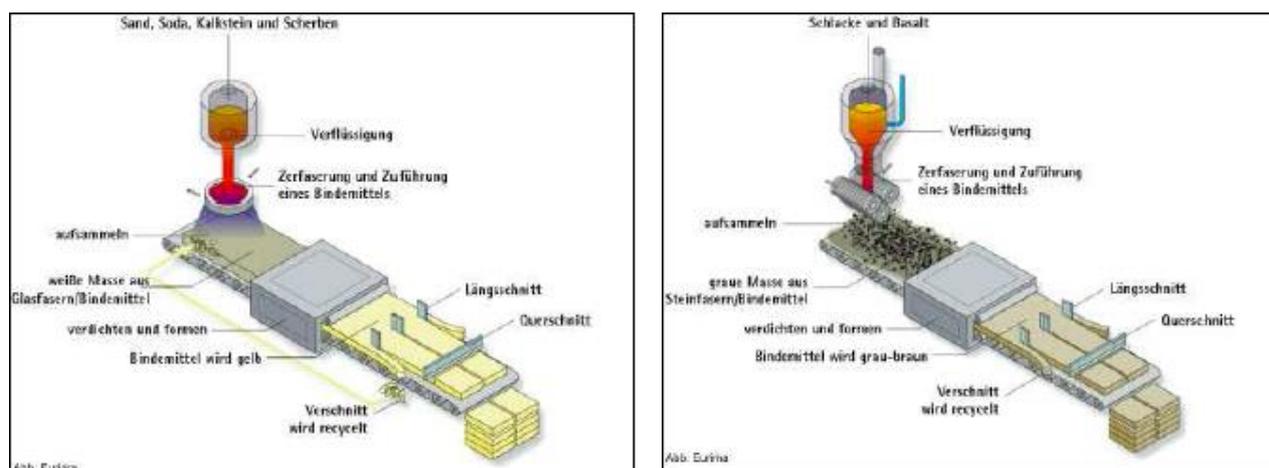


Рис. 27 и 28. Схематическое представление процесса производства стекловаты (слева) и каменной минеральной ваты (справа). Источник: www.fmi-mineralwolle.de/Produkte

Основные структурные и химические свойства минеральной ваты хорошо описаны в работах Герда-Рюдигера Клозе (Gerd-Rüdiger Klose), в течение долгого времени занимавшего пост директора завода и главы отдела научно-исследовательских разработок компании Rockwool GmbH & Co. Ниже приводятся некоторые выдержки из его работ:

«Изоляционные материалы из каменной ваты состоят из точно соединенных между собой волокон. Волокнистая форма способствует увеличению устойчивости материала к нагрузкам и его более высокой прочности. При нагрузке на материал волокна играют роль упругого барьера. При регулярно повторяющихся нагрузках упругость материала снижается, он начинает сильнее прогибаться под оказываемой тяжестью. ...при чрезмерных механических нагрузках во время строительных работ или эксплуатации изоляционные материалы подвергаются релаксационному эффекту». [Klose, 1995]

«Ноу-хау заключается в том, что постоянно соприкасающиеся слои волокна крепко скрепляются друг с другом». [Klose 1995]

«В составе волокон каменной ваты присутствуют разные типы стекла с достаточно высокой концентрацией окисей щелочноземельных металлов, кальция, магния и железа. По сравнению с посудным стеклом и различными типами технического стекла, гидrolитическая устойчивость данного типа стекла предельно мала. Помимо этого, волокна данного материала охлаждаются во время производства, что может приводить к более высокому

внутреннему напряжению внутри материала. Так, посудное стекло "остывает" после формовки, т.е. материал нагревается максимально долго, пока данное внутреннее напряжение не уменьшится. Если этот процесс не довести до конца, стекло может треснуть без видимых причин или при минимальной нагрузке. Волокна подвергаются сильной кислотной обработке, что вызывает коррозионное растрескивание материала, т.е. трещины, разрушение соединений... Именно поэтому необходима индивидуальная защита каждого фрагмента волокна, из которого состоит изоляционный материал». [Klose 1995]

«Средний диаметр волокна составляет примерно 3-6 мкм. Длина волокон может варьироваться от нескольких мкм до примерно 20 мм». [Klose 1993]

«При непредвиденном испарении воды волокна материала охлаждаются и принимают стекловидную форму. Параллельно с разрушением связующего материала выделяются либо высококипящие минеральные масла, силиконовые масла, смолы, водномасляные эмульсии или Комбинированные смолы в качестве гидрофобизирующих, пылесвязывающих или смазывающих веществ. Они образуются на слоях волокон в виде пленки в несколько нанометров толщиной и влияют на водоотталкивающие свойства каждого отдельного волокна». [Klose 1993]

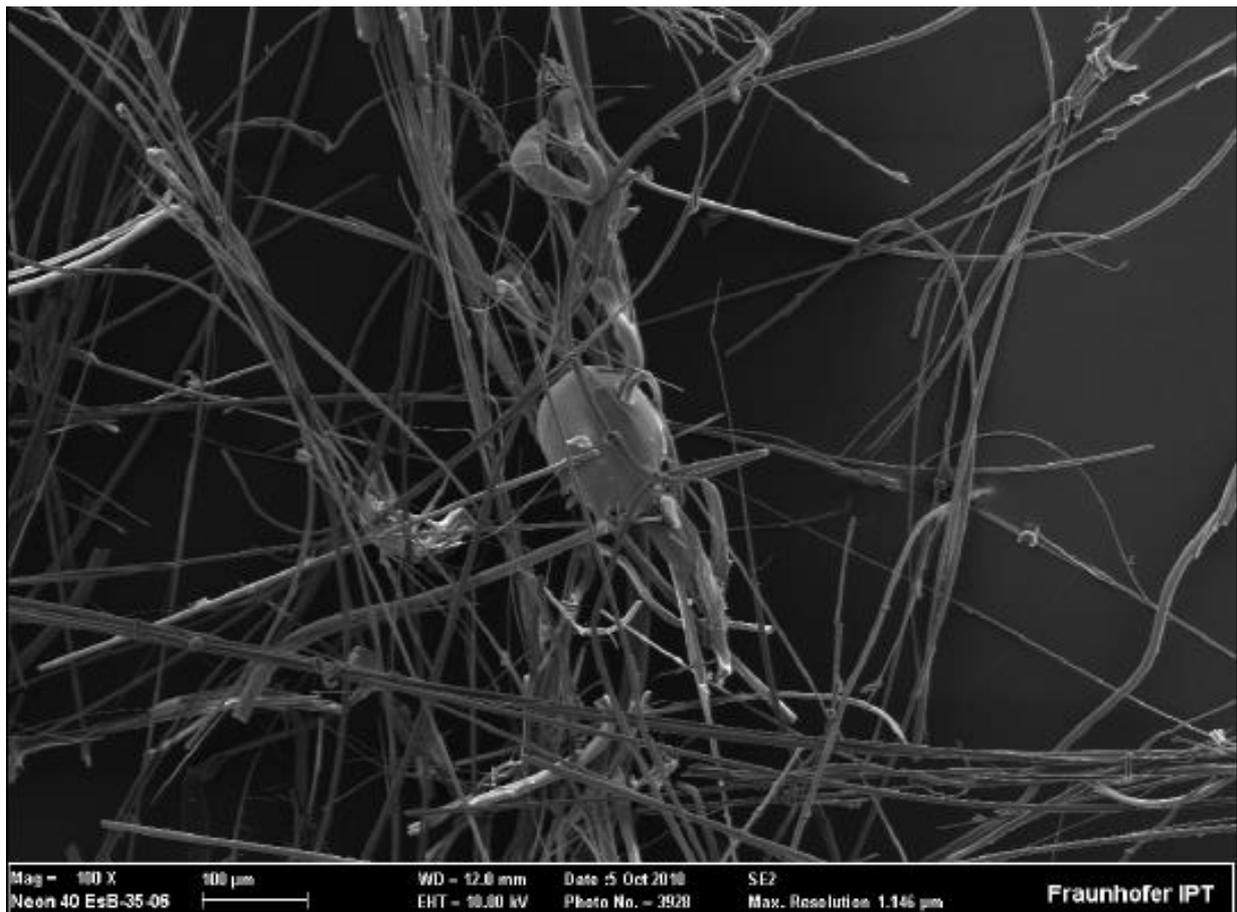


Рис. 29. Растрово-электронная микрофотография образца минеральной ваты, подвергнутого воздействию влаги, увеличение в 100 раз

«Связующие вещества в основном состоят из мочевино-формальдегидных феноловых смол в количестве от 3,5 т% (Rockwool и т.д.) до 8 т% для минеральной ваты KI-40. Смолы связывают волокна друг с другом исключительно в точках соприкосновения слоев. Самые грубые расчеты показывают, что небольшого количества связующего вещества может быть недостаточно, чтобы обеспечить плотное сцепление волокон. Водоотталкивающие качества волокон обеспечиваются либо посредством их обработки высококипящими алифатическими минеральными маслами или водномасляными эмульсиями.... При производстве минеральной ваты типа KI-40 используются (намного более эффективные) кремнийорганические соединения (тем не менее, используются не часто ввиду требования на использование несиликоновых изоляционных материалов в автомобильной промышленности). Содержание водоотталкивающих веществ составляет всего лишь 0,2 ... 0,4 т%, ввиду чего толщина слоев при монтаже материала составляет не более нескольких нанометров». [Klose 1998]

«Соединения смола-стекло крайне чувствительны к воздействиям воды (пара)». [Klose 1995]

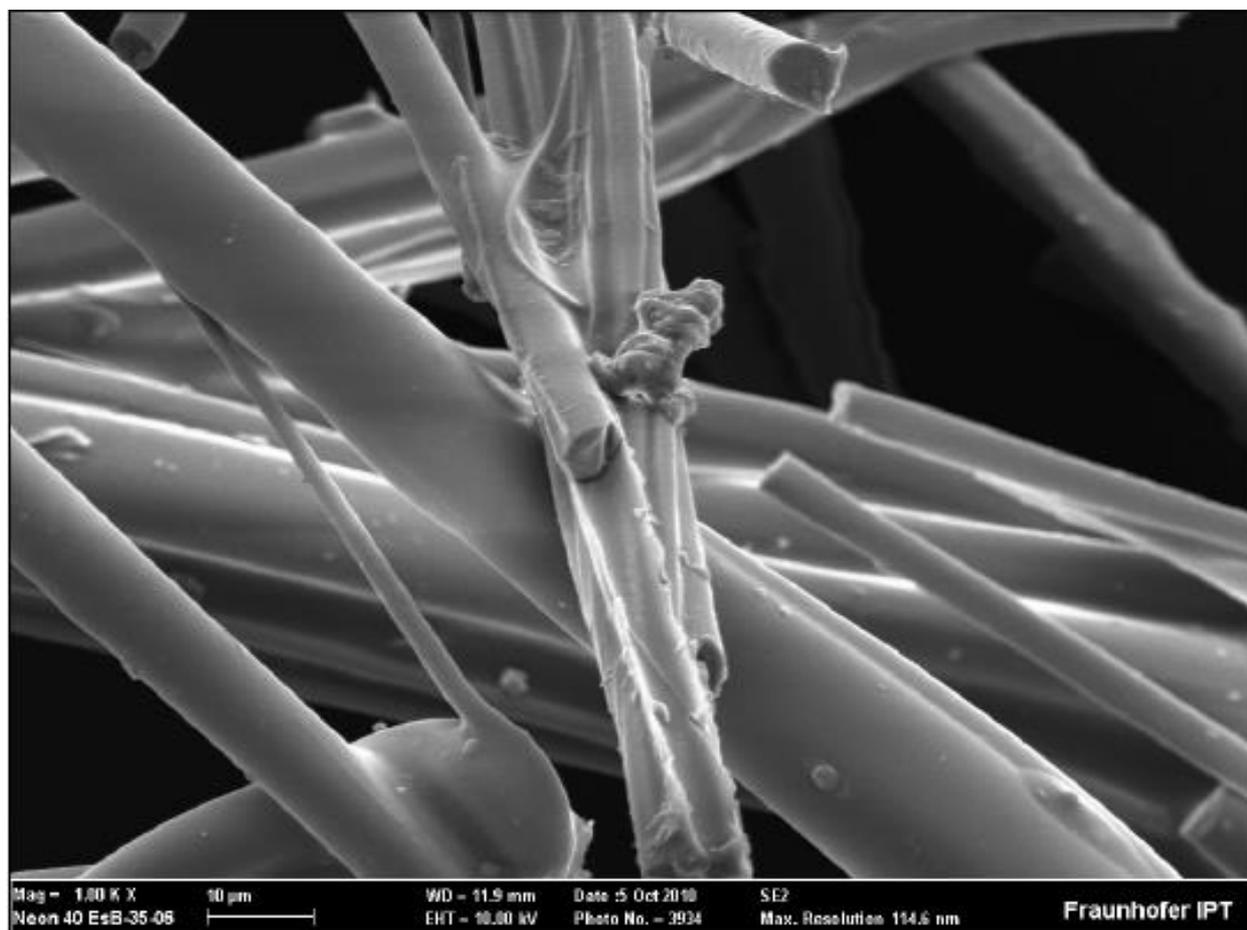


Рис. 30. Растрово-электронная минифотография образца минеральной ваты, подвергнутого воздействию влаги, увеличение в 1 000 раз

3.3 Скопление влаги в минеральном волокне

Изоляционные материалы из минеральной ваты не имеют капилляров. В отличие от массивных, пористых строительных материалов, впитывающих воду через

капилляры (т.е. вода накапливается в порах), минераловатные материалы ни впитывают, ни накапливают влагу внутри. Данный материал обладает сильными водоотталкивающими свойствами, благодаря чему влага не впитывается, а отталкивается от его поверхности.

Соответственно, как уже было отмечено в работах Кюнцеля [Künzel 1988], минераловатные изоляционные материалы в испытаниях при нормальных условиях (погружение в воду полностью, погружение на 30 мм, хранение под водой) почти не впитывают влагу (не более 1 vol-% для материалов плотностью от 160 кг/м³). Только хранение под водой и дополнительная большая нагрузка (40 vol-% для материалов той же плотности) приводят к скоплению значительного количества влаги в изоляционном материале.

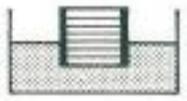
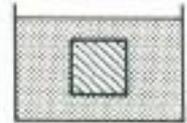
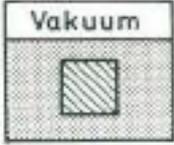
№	Тип испытания	Схематическое расположение	Показатели	
			Минераловатная плита без водоотт. свойств	Минераловатная плита с водоотт. свойствами
1	Влагопоглощаемость по стандарту DIN 52 617 перпендикулярно минераловатной плите (24 ч)		1,3 кг/м ³ h ^{0,5}	0,007 кг/м ³ h ^{0,5}
2	Влагопоглощаемость по стандарту DIN 52 617 параллельно минераловатной плите (24 ч)		1,3 кг/м ³ h ^{0,5}	0,01 кг/м ³ h ^{0,5}
3	Влагопоглощаемость при давлении 30 мм перпендикулярно минераловатной плите (24 ч)		5,0 кг/м ³ h ^{0,5}	0,015 кг/м ³ h ^{0,5}
4	Влагопоглощаемость при давлении 30 мм параллельно минераловатной плите (24 ч)		5,5 кг/м ³ h ^{0,5}	0,03 кг/м ³ h ^{0,5}
5	Влагопоглощаемость при погружении минераловатной плиты под воду (24 ч)		87 Vol-%	1,0 Vol-%
6	Влагопоглощаемость при погружении минераловатной плиты под воду и оказании давления 550 mb (24 ч)		88 Vol-%	40 Vol-%

Рис. 31. Влагопоглощаемость изоляционных материалов из минеральной ваты [Künzel 1988]

Минераловатные изоляционные материалы считаются не гигроскопичными, т.к. в состоянии равновесия они способны впитывать лишь незначительное количество влаги. По данным Кюнцеля [Künzel 1988], при 23°C и отн. влажности 80% в слоях материала плотностью 120 кг/м³ накапливается не более 0,015 vol-% влаги, в материалах плотностью 160 кг/м³ - не более 0,026 vol-%. В материале толщиной 10 см при этом накопилось бы от 15 или 26 г/м² воды. Предел содержания влаги в районе 0,1 vol-% (или 100 г/м², как в приведенном примере), как правило, не превышает.

Исследования Кюнцеля основываются, в первую очередь, на испытаниях изоляционных материалов наружных стен зданий, в основном стен с каменной кладкой. Было обнаружено, что на практике возможно и более высокое содержание влаги в материале, что, впрочем, не имеет большого значения, т.к. речь идет о скоплении конденсата.

В то же время, вода может перемещаться вдоль волокон материала из-за силы адгезии [Künzel 1993]. В результате адгезионного эффекта вода начинает перемещаться по волокнам в продольном направлении. Такие перемещения почти полностью исключаются ввиду водоотталкивающих свойств волокон и не играют никакой роли для плоской кровли без скатов и наклонов. Таким образом, благодаря водоотталкивающим свойствам минераловатных плит перемещение влаги в них ограничивается процессами диффузии пара и силы тяготения.

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

Результаты испытаний по влаговпитываемости, которые будут детальнее описаны в Разделе 5.1.2, не соответствуют реальному воздействию влаги на плоскую кровлю: и без дополнительных нагрузок материал может впитывать значительное количество влаги, перемещающейся в результате диффузии. Такие выводы были сделаны на основе показателей образцов кровли, испытанных в рамках настоящего исследования.

Продолжительное скопление влаги на теплой стороне изоляционного материала в долгосрочной перспективе может оказать значительное воздействие на гидроизоляционные свойства плоской кровли. Небольшие протечки, которые, как правило, остаются незамеченными или не могут быть найденными в течение долгого времени, зачастую становятся местом регулярного проникновения влаги внутрь кровельного покрытия. Такое скопление воды, образующей влажную пленку на изоляционном материале, является особенно характерным для плоской кровли, не имеющей скатов. Ввиду этого, для такого типа кровли очень характерен интенсивный процесс диффузии, обуславливаемый высоким градиентом давления пара в изоляционном слое (при 18 - 20°C и отн. влажность 100% на нижнем слое изоляции). Значительно более низкая концентрация влаги в верхнем слое изоляционного материала наблюдается в нормальных температурных условиях от 0 до 20°C. Таким образом, нет ничего удивительного в том, что при анализе полученных образцов изоляционных материалов содержание влаги в минеральной ваты составило 50m% / 7 vol-% и больше.

Необходимо установить, до какой степени диффузионный перенос влаги приводит к значительной потере тепла или вовсе разрушает теплоизоляционные свойства

материала ввиду перемещения влаги в обратном направлении или скрытых тепловых эффектов (см. Раздел 8.1).

4. Требования, установленные нормативными документами

4.1.1 DIN EN 13162:2009-02

Стандарт "DIN EN 13162 Теплоизоляционные строительные материалы: заводские изделия из минеральной ваты (MW), спецификация" устанавливает общие требования и методы испытаний минераловатных изоляционных материалов. В рамках испытаний изоляционного материала в рассмотренных примерах требования Стандарта DIN 4108-10 в основном соблюдались.

4.1.2 DIN 4108-10:2008-06

Стандарт "DIN 4108 Теплоизоляция и экономии энергии в зданиях - Часть 10: Требования к эксплуатации теплоизоляционных материалов, заводская теплоизоляционная продукция" устанавливает минимальные требования к теплоизоляционным материалам с точки зрения отдельных сфер их применения. При работе с гидроизоляцией (DAA - наружная гидроизоляция) в Таблице 3 приводятся требования к минераловатным изоляционным материалам с точки зрения их толщины (допускаемые отклонения от нормы), устойчивости к деформациям в условиях температурных перепадов и скопления влаги, устойчивости к сжатию и кратковременному проникновению воды/влаги.

Область применения	Короткое обозначение	Код обозначения												
		Граничные значения толщины	Устойчивость к нагрузкам при заданной температуре	Устойчивость к нагрузкам при заданной температуре и концентрации влаги	Устойчивость к нагрузкам при оказании давления	Прочность к нагрузкам и растяжениям параллельно плите	Точечная нагрузка	Краткосрочное влагопоглощение	Долгосрочное влагопоглощение	Динамическая жесткость	Сжатие материала	Гидродинамическое сопротивление		
Кровля, потолки	DAD	dk ^b	T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	AFr5
		dg	T4	-	-	CS(10)20	-	-	-	-	-	-	-	-
		dm	T4	-	-	CS(10)50	TR5	-	-	-	-	-	-	-
	DAA	T4	DS(T+)	DS(TH)	CS(10)Y60	TR7,5	PL(5)500	WS	-	-	-	-	-	
	DUK	Применение не стандартизировано												
	DZ ^b	T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	AFr5
	DI	T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	AFr5
	DEO		T4	-	-	CS(10)40	TR7,5	-	WS	-	-	-	-	-
		dg	T4	-	-	CS(10)20	WS	-	-	-	-	-	-	-
		dm	T4	-	-	CS(10)40	WS	-	-	-	-	-	-	-
	DES	sh	T6	-	-	-	-	-	-	-	-	< SD25	CP5	-
		sm	T6	-	-	-	-	-	-	-	-	> SD40	CP3	-
		sg ^c	T7	-	-	-	-	-	-	-	-	< SD50 ^d	CP2	-

Рис. 32. Таблица 3 из стандарта DIN 4108-10

В качестве минимального требования по устойчивости материалов к нагрузкам при сжатии 10% приводится прочность 60 кПа.

Сопротивление к разрывам и растяжениям должно составлять 7,5 кПа.

Точечная нагрузка при деформации 5 мм должна быть не менее 500 N. Испытания могут проводиться при помощи поршневой установки 50 см² (т.е. диаметром 79,8 мм), что соответствует нагрузке 10 Н/см² или 100 кПа.

Также необходимо измерить уровень краткосрочного проникновения влаги в материал, однако конкретные требования по данной процедуре отсутствуют. Ввиду этого, целесообразным представляется применение Стандарта DIN EN 13162, согласно которому полученные значения не должны превышать 1 кг/м². (Условия проведения испытаний детальнее описываются в Разделе 5.1.2) Требования к определению долгосрочного скопления влаги разработаны не были.

В соответствии со стандартами, необходимо проверить устойчивость материала к деформациям. Соответствующие требования разработаны не были. В соответствии со Стандартом DIN 13162, после 48-часового хранения изоляционного материала при температуре 70°C и относительной влажности 90% его длина, ширина и толщина не должны изменяться более чем на 1%. Поскольку содержание влаги в воздухе при 70°C и влажности 90% составляет 177,3 г/м³, содержание влаги в изоляционном материале должно составлять около 0,1 т% (для относительно твердых материалов в пределах 150 кг/м³).

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

Положения стандарта основываются на общепринятых требованиях к испытаниям изоляционных материалов. Как правило, испытаниям подвергаются только сухие изоляционные материалы. Испытания на краткосрочную влагопоглощаемость и устойчивость материала к деформациям позволяют сделать первичные выводы, что этот стандарт позволяет учитывать и воздействие влаги. Тем не менее, стандарт не устанавливает никаких дополнительных требований по данному параметру. Помимо этого, воздействие влаги на тестируемый материал настолько мало, что на основе полученных результатов испытаний нельзя сделать выводов о поведении материала при значительном проникновении воды/влаги.

4.1.3 Технический паспорт продукции от ZVDH, март 2004:

Ассоциация немецкой кровельной индустрии (ZVDH) указывает ряд требований к теплоизоляционным материалам с точки зрения их устойчивости к нагрузкам. Они приведены в спецификации от марта 2004 года: "Таблица 4: Сферы применения и отличия свойств изоляционной продукции в сфере применения DAA ("наружная гидроизоляция"). Материалы получают соответствующую классификацию, напр. dm ("средний уровень прочности при сжатии") или ds ("высокий уровень прочности"). Данная классификация по устойчивости материала к нагрузкам не применима к изоляционным материалам из минеральной ваты. Таким образом, в техническом документе Ассоциации кровельной индустрии отсутствуют данные по минераловатной изоляционной продукции.

4.1.4 Руководство по плоской кровле, 2008

В Руководстве по плоской кровле [2008] в Разделе 4.4. "Теплоизоляционные материалы" приводятся следующие общие требования:

«(4) На невентилируемой кровле должны использоваться устойчивые к нагрузкам теплоизоляционные плиты; на уже эксплуатируемой кровле следует использовать изоляционные плиты с повышенной устойчивостью к нагрузкам». Ограничения по требуемой прочности/устойчивости материалов в Руководстве не приводятся.

«(8) В случае, если изоляционные плиты крепятся механически, необходимо принимать во внимание устойчивость материала к нагрузкам, характеристики его поверхности и особенности систем крепления (см. Раздел 2.6.3.4). При работе с минераловатными изоляционными материалами необходимо дополнительно учитывать поведение и возможные деформации материала при точечной нагрузке».

К механическому креплению кровельной системы в Разделе 2.6.3.4 приводятся следующие требования (минераловатные изоляционные материалы):

«(11) Если изоляционные материалы из минеральной ваты выдерживают точечную нагрузку менее 600 Н, то необходимо использование надежных крепежных элементов».

4.1.5 Устаревшие нормативы

Руководство по плоской кровле

В предыдущих редакциях Руководства по плоской кровле приводились общие требования к изоляционным материалам: «Слои теплоизоляционной продукции должны быть температуростойкими и не подверженными гниению, материал должен надежно крепиться на однослойной кровле». (Издание 1973 года) В 1982 году было добавлено требование "устойчивость формы".

В соответствии с изданием 1973 года, на «однослойной кровле» следовало устанавливать «надежные изоляционные плиты из минеральной ваты».

В изданиях 1982 и 1992 гг. уже позволялось использование «волоконистых изоляционных материалов» под кровельной прошивкой невентилируемой кровли, данной конструкции присваивался тип эксплуатации WD. Они должны были соответствовать стандарту DIN 18165. В то же время, никаких требований по плотности материалов не предъявлялось.

DIN 18165-1:1991-07 и DIN 18165-1:2002-01

В Таблице 1 устаревшего стандарта "DIN 18165 Волоконистые изоляционные материалы, применяемые для теплоизоляции строительных конструкций, июль 1991 г." тип эксплуатации WD описывается следующим образом:

«Теплоизоляционные материалы, устойчивые к нагрузкам и давлению, в т.ч. пригодны для эксплуатации под перераспределяющими давлением опорами (без учета ударных шумов) и под кровельным покрытием».

В качестве минимального требования по устойчивости данного типа материалов к нагрузкам приводится прочность 40 кПа при сжатии 10% (0,040 N/мм²). Прочность материала в среднем должна была составлять 7,5 кПа (0,0075 N/мм²).

Требование наличия водоотталкивающих свойств предъявлялось только к изоляционным материалам, монтируемым на вентилируемой кровле.

5. Стандартные испытания

Зачастую при хранении или установке теплоизоляционных плит на плоской кровле в них накапливается влага. При оценке серьезности воздействия влаги на характеристики изоляционного материала необходимо в первую очередь опираться на требования и стандарты имеющихся нормативных документов. На основе этих данных необходимо проверить, возможна ли дальнейшая эксплуатация изоляционных материалов, подвергшихся воздействию влаги. Ниже кратко приводятся соответствующие требования применимых нормативных документов.

5.1.1 Проверка на прочность/устойчивость к сжатию

Поведение изоляционных плит при сжатии зависит от структуры их материала. Изоляционные материалы, в которых при максимальной нагрузке (максимальная сила F_m) фиксируются деформации, проверяются на "сопротивление сжатию". В отличие от них, изоляционные материалы из минеральной ваты проверяются на "прочность при сжатии 10%". При описании прочностных свойств минеральной ваты и в целях разграничения стандартов тестирования разных материалов, в рамках настоящей работы используется термин не "сопротивление сжатию", а "прочность при сжатии".

Испытания должны проводиться в соответствии со стандартом [DIN EN 826: 1996-05] на примере образцов заводского производства 200 x 200 мм толщиной. В рамках испытания изоляционный материал подвергается максимально продолжительному сжатию между двумя параллельными плитами до тех пор, пока не будет достигнуто сжатие 10%. Необходимо измерить вызванное при этом напряжение в материале. Процесс повышения нагрузки и вызываемые при этом деформации материала должны фиксироваться на кривой сила-деформация. Деформация в пределах 10% определяется на основе "точки нулевой деформации", фиксируемой на соответствующем графике. Ниже представлен пример графика, демонстрирующего деформации изоляционного материала.



Рис. 33. Пример графика сила-деформация; фрагмент Рис. 1 стандарта DIN EN 826: 1996-05

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях (23°C, отн. влажность 50%).

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

Данные испытания **не** позволяют получить информацию о том, как будут (и будут ли) изменяться свойства изоляционного материала в условиях долгосрочного воздействия влаги.

5.1.2 Проверка на влагопоглощаемость

В стандарте [DIN EN 13162: 2009-02] представлены требования к влагопоглощаемости для минераловатных изоляционных материалов. Согласно им, влагопоглощаемость при краткосрочном частичном погружении материала в воду (в соответствии со стандартом [DIN EN 1609]) не может превышать отметки 1,0 кг/м²; влагопоглощаемость при долгосрочном частичном погружении (в соответствии со стандартом [EN 12087 DIN]) не может превышать отметки 3,0 кг/м².

По стандарту [EN 1609: 2007-06], при краткосрочном влагопоглощении изоляционный материал должен погружаться в воду на глубину 10 мм своей нижней стороной на 24 часа. После этого необходимо измерить изменения его массы. Уровень воды должен быть постоянным в течение всего испытания.

По стандарту [EN 12087: 2007-06], при долгосрочном влагопоглощении изоляционный материал должен быть погружен в воду на 28 дней. Погружается либо только нижняя сторона (Тип испытания 1), либо весь фрагмент материала (Тип испытания 2); материал должен быть покрыт водой на 50 мм. Согласно производственному стандарту [DIN EN 13162: 2009-02], целесообразным является применение лишь Типа испытания 1. Сокращение W_{i_p} используется в данном стандарте для обозначения долгосрочного частичного погружения материала в воду.

В рамках лабораторных испытаний устанавливается температура окружающей среды 23°C и влажность воздуха 50%; температура воды также составляет 23°C ($\pm 5^\circ\text{C}$). При этом образуется диффузионный поток по направлению от нижней (23°C и отн. влажность 100% или 2806 Па) к верхней части плиты (23°C и отн. влажность 50% или 1406 Па).

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

В стандартных условиях (температура воды 23°C, температура воздуха 23°C/отн. влажность 50%) образуется диффузионный поток 0,00935 кг/м² ч. Через 24 часа переносится уже 0,2244 кг/м², а через 28 дней уже 6,28 кг/м² влаги.

Тем не менее, данный объем воды не накапливается в изоляционном материале, а испаряется в воздухе. Таким образом, изоляционный материал подвергается

лишь незначительному воздействию диффузионного потока воды, взаимодействующей с материалом в месте погружения.

Если предположить, что между точкой погружения в воду и наружной поверхностью материала образуется скопление влаги, то ее среднее значение составит $20,6 \text{ г/м}^3$ (содержание влаги в воздухе при 23°C и отн. влажности 100%) и $10,3 \text{ г/м}^3$ (содержание влаги в воздухе при $23,43^\circ\text{C}$ и отн. влажности 50%), т.е. получается значение в пределах 15 г/м^3 . Таким образом, на изоляционный материал толщиной 10 мм приходится содержание воды $1,5 \text{ г/м}^3$. Это значение намного ниже граничного показателя 1 кг/м^3 , установленного соответствующим стандартом. Таким образом, хорошо впитывающий минераловатный изоляционный материал с легкостью проходит данное нормативное требование.

В невентилируемой плоской кровле чаще всего происходит накопление влаги. Влага не может испариться с верхней поверхности изоляционного материала, ввиду чего происходит ее накапливание. В зависимости от конкретных климатических условий содержание влаги легко достигает 100%, и диффузионный поток медленно прекращается. В некоторых случаях возможен обратный поток влаги, особенно при постоянном солнечном свете и воздействии высоких температур на верхнюю поверхность изоляционного материала. Таким образом, влагопередача может происходить не только в одном направлении; накапливаемая влага более или менее равномерно распределяется по всей поверхности изоляционного материала. Если во время строительных работ фиксируется не единичное проникновение влаги, а ее постоянное скопление в месте протечки, то ее увеличивающееся количество также распределяется по всей поверхности изоляционного материала. Более частые измерения содержания влаги в пределах 5 т% показывают значения в пределах 150 кг/м^3 . При этом уровень плотности составляет не менее $7,5 \text{ кг/м}^3$, т.е. содержание влаги намного превышает установленную стандартами норму.

5.1.3 Теплопроводность и теплопередача

Согласно стандарту [DIN EN 13162: 2009-02], термосопротивление и теплопроводность должны определяться на основе измерений по стандартам [EN 12667] (или [EN 12939] для материалов большей толщины).

Качества теплопередачи изоляционных материалов измеряются при помощи пластинчатого устройства или измерителя теплового потока.

При использовании пластинчатого устройства (двухпластинчатое устройство) две почти идентичные изоляционные плиты крепятся по двум сторонам нагревательной пластины или между двумя охлаждающими пластинами (или между нагревательной и охлаждающей пластинами). После установки стационарного режима измеряется потребляемая мощность измерительной пластины.

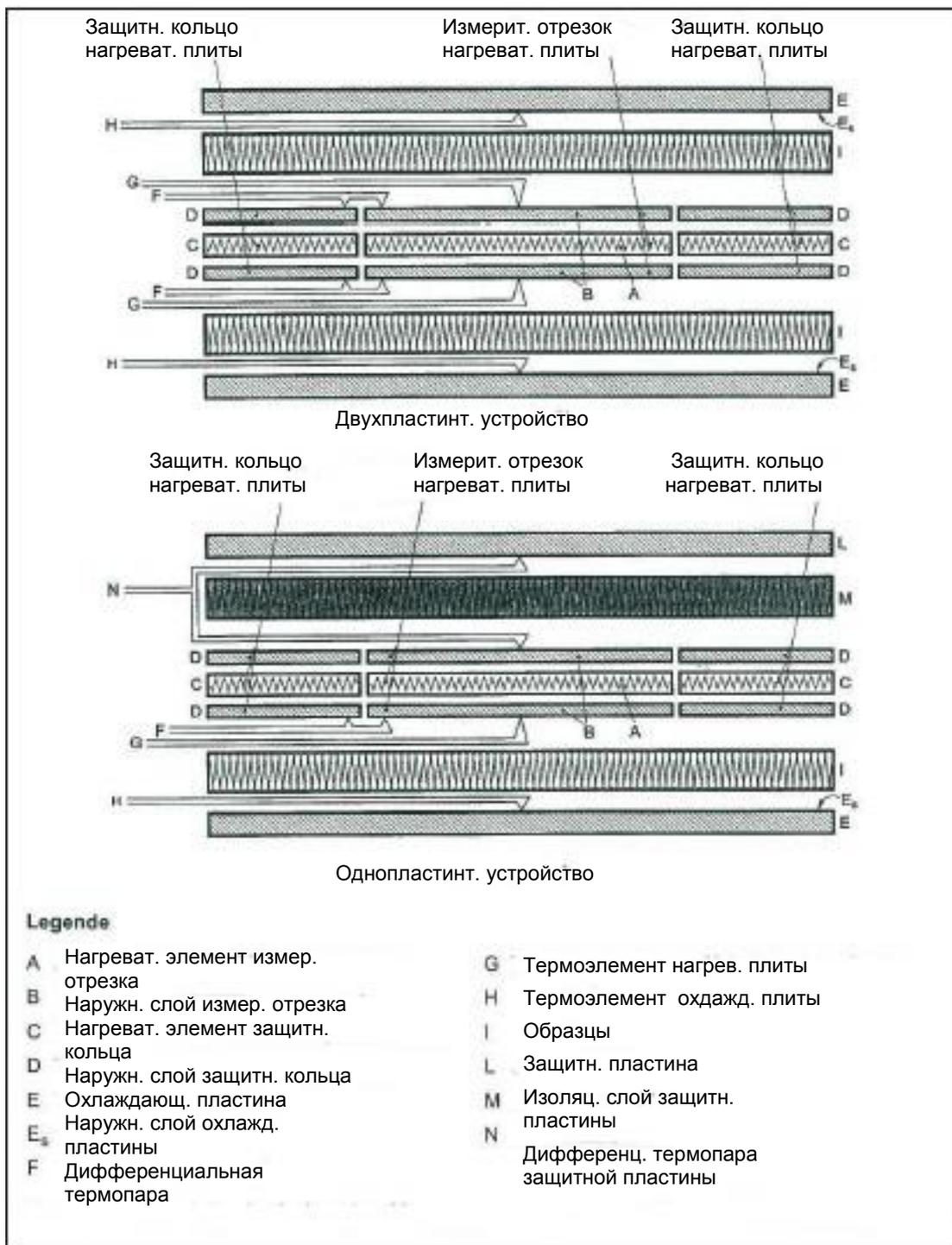


Рис. 34. Илл. 1 стандарта DIN EN 12667: Общие характеристики двухпластинчатого устройства и однопластинчатого устройства

При использовании измерителя теплового потока одна или две изоляционные плиты крепятся между нагревательной и охлаждающей пластинами, при этом между этими пластинами крепится одна или две измерительные пластины, фиксирующие плотность теплового потока на основе температурных измерений.

Согласно производственному стандарту [DIN EN 13162: 2009-02], данные испытания должны проходить при средней температуре около $(10 \pm 0,3^{\circ}\text{C})$. Предварительной обработки образцов не требуется. Обычно испытаниям подвергается сухой изоляционный материал. Современные стандарты, как правило, не содержат указаний к измерению теплопроводности изоляционного материала, подвергнутого воздействию влаги.

Основания полагать, что изменяющиеся свойства изоляционных материалов при воздействии влаги следует рассматривать по-разному в зависимости от их исходных свойств и соотношения теплопередачи/влажнопередачи, содержатся в Приложении А к стандарту DIN EN 12667. В документе указывается, что фактическая теплопроводность материала складывается из нескольких факторов:

- излучения
- протекания твердой и газообразной фазы
- конвекции (в конкретных условиях)
- и их взаимодействия с переносом массы в первую очередь во влажных материалах.

Таким образом, в данном случае термин «теплопроводность» заменяется понятием «фактор переноса»; данный фактор также часто называют «видимой» или «фактической» теплопроводностью. Применительно к минераловатным материалам формулируются следующие положения:

«Если внутри образца образуется возможность процесса конвекции (например, в минераловатном образце небольшой толщины), то положение измерительного прибора, толщина и температурные перепады могут оказать значительное воздействие как на фактор переноса, так и на термосопротивление материала».

При этом, как правило, делается вывод, что *«выбор параметра, определяющего свойства теплопередачи, который будет признан характерным для того или иного материала, должен базироваться на исследовании образцов в соответствующих условиях».*

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

Можно сказать, что имеющиеся на сегодняшний день стандарты предназначены для определения термических свойств сухих изоляционных материалов. При оценке влажных материалов предпочтительнее использовать понятие теплопередачи, позволяющее учитывать не только теплопроводность материала, но и перенос тепла в результате влажнопередачи во влажном материале. Как еще будет отмечено ниже, на сегодняшний день не существует приемлемых методов испытаний и оценки минераловатных изоляционных материалов, подвергшихся воздействию влаги.

5.1.4 Прочность при разрыве и растяжении

Производственный стандарт [DIN EN 13162: 2009-02] содержит данные о двух способах испытания продукции на прочность при разрывах и растяжениях:

1. В соответствии со стандартом DIN EN 1608: Предел прочности при сжатии вдоль слоев. Ввиду необходимости проведения монтажных и восстановительных работ, изоляционный материал должен иметь определенный предел прочности при сжатии вдоль слоев. Прочность должна быть настолько большой, чтобы «материал мог выносить нагрузки, сравнимые с двукратным превышением его собственного веса». В рамках данного испытания изоляционный слой 1000 мм x 500 мм, чья ширина уменьшается до 300 мм, разламывается по поперечным сторонам и в таком состоянии крепится на измерительный прибор. Сила натяжения постепенно увеличивается, пока прочность материала не достигнет своего предела. Испытание можно не проводить, если применимы испытания на прочность при растяжении по стандарту DIN EN 1607.
2. В соответствии со стандартом DIN EN 1607: Предел прочности при сжатии перпендикулярно слоям. В рамках данного испытания образцы 300 мм x 300 мм прикрепляются между 2-мя параллельными пластинами. Пластины сжимаются вместе, пока прочность материала не достигнет своего предела. Показания образцов после испытания не должны быть ниже указанного уровня TR.

Испытания проводятся в стандартных температурных условиях.

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

Данные испытания помогают сделать вывод лишь о свойствах не находящимся в эксплуатации изоляционных продуктов. Не устанавливается, каким образом изменятся свойства материала при воздействии влаги.

5.1.5 Устойчивость к деформациям при определенной температуре и влажности

В соответствии со стандартом [DIN EN 13162:2009-02], после 48-часового хранения изоляционного материала при температуре 70 ± 2 °C и относительной влажности $(90 \pm 5)\%$ его длина, ширина и толщина не должны изменяться более чем на 1%.

Соответствующие испытания приводятся в стандарте [DIN EN 826: 1996-05], согласно которому образцы заводского производства 200 x 200 мм толщиной необходимо поместить в климатическую камеру. Показатели образцов заново измеряются примерно через 3 часа после их изъятия из климатической камеры и затем сравниваются с начальными показателями.

Значение данных выводов для кровельных поверхностей, подвергшихся воздействию влаги:

Данный стандарт также не может использоваться для оценки свойств теплоизоляционных материалов, подвергшихся воздействию влаги. В рамках данного испытания изоляционные материалы подвергаются значительному климатическому воздействию в течение очень короткого периода времени. Ни климатические условия, ни заданный период времени не соответствуют реальным условиям эксплуатации материалов. Намного более типичными условиями можно назвать частые температурные перепады и значительно более высокую влажность воздуха. Таким образом, данный стандарт также не подходит для оценки состояния изоляционных материалов, подвергшихся воздействию влаги.

5.1.6 Обобщение рассмотренных методов испытаний

Все вышеуказанные испытания рассчитаны на работу с сухими изоляционными материалами и позволяют принять во внимание лишь небольшое количество влаги. Таким образом, стандартные методы испытания лишь отчасти позволяют оценить изменения качеств минеральной ваты после воздействия влаги. Они не позволяют определить воздействие существенного количества влаги на минераловатный изоляционный материал.

5.2 Контроль качества от производителя

Производители изоляционных материалов оценивают качества своей продукции, подвергая ее т.н. процессу "ускоренного старения" в автоклаве. В рамках данного метода изоляционные материалы помещаются в водяную баню при 121°C в течение 15 минут; затем они высушиваются при 100°C и проверяются на прочность при сжатии и растяжении. С точки зрения производителей, такая проверка позволяет сделать выводы о стандартном сроке жизни изоляционных материалов.

Согласно Клозе [Klose 1995], при повторное испытании «происходит падение напряжения примерно с 30 до 35%..., что соответствует напряжению, возникающему при релаксационном эффекте материала, уже подвергавшегося определенным механическим нагрузкам на строительном объекте."

6. Отступление 1: Опасность материалов для здоровья и их утилизация

При принятии решения, необходима ли замена пропитанной влагой минераловатной изоляции с плоской кровли, помимо прочего, необходимо учитывать потенциальную опасность материала для здоровья людей, связанную с использованием старых изоляционных материалов или возникающую во время их утилизации.

6.1 Опасность для здоровья

Искусственные минеральные волокна могут быть канцерогенными для человека. После внесения в 1980 г. минераловатных изоляционных материалов в Список ПДК (предельно допустимая концентрация химических веществ) Немецкого

исследовательского общества был вынесен ряд предложений по установлению предельных параметров, при превышении которых работа с минеральным волокном должна считаться недопустимой.

В настоящее время в Германии действует Нормативное положение об опасных веществах, в Приложении II п. 5 которого ([GefStoffV 2010-11]) содержится запрет на производство и использование минераловатной продукции из биостойких волокон в случае, если данная продукция применяется для тепло- и звукоизоляции в строительстве. Запрет не распространяется на продукцию из биорастворимых волокон и если выполняется хотя бы один из четырех установленных критериев допустимости. В качестве исключения требуется выполнение и второго критерия, в соответствии с которым необходимо доказать, что «период полураспада после интратрахеального введения 2 мг волокнистой суспензии для волокон с длиной более 5 мкм, диаметром менее 3 мкм и соотношением длины к диаметру больше, чем 3 к 1, составляет не более 40 дней» (требования ВОЗ).

Классификация материалов из минеральной ваты регулируется положениями Директивы ЕС 1272/2008. И в этом документе предусмотрен ряд критериев допустимости, при выполнении которых материал не считается канцерогенным.

Изоляционные материалы из минеральной ваты со знаком качества RAL отвечают всем требованиям Директивы ЕС и Нормативного положения об опасных веществах и не подлежат классификации или запрету.

При работе с минераловатной продукцией, классифицированной в качестве канцерогенной, применяются предписания [TRGS 521]. Под «старыми минераловатными материалами» понимаются:

«В соответствии с нормами TRGS, старыми минераловатными материалами считаются биостойкие искусственные минеральные волокна, перечисленные в Приложении IV п. 22 (в наст.вр. Приложение II п. 5) Нормативного положения об опасных веществах (GefstoffV). В соответствии с Классификацией канцерогенных, мутагенных и токсичных веществ TRGS 905, канцерогенной признается волокнистая пыль, выделяемая из старых минераловатных материалов.»

С июня 2000 г. распространяется запрет на производство и использование старых минераловатных материалов в соответствии с Приложением IV п. 22 (в наст.вр. Приложением II п. 5) Нормативного положения об опасных веществах (GefstoffV). Минераловатную продукцию, произведенную до 1996 года, можно считать "старым минераловатным материалом" в соответствии с нормативом TRGS».

В TRGS также указывается следующая информация:

«Даже при соблюдении указанной в п. 3.3 концентрации волокнистой пыли на рабочем месте (50 000 волокон/м³), имеющиеся на сегодняшний день научные данные не позволяют полностью исключить риски заболевания раком. Ввиду этого, необходимо принимать дальнейшие меры по минимизации концентрации волокнистой пыли в атмосфере.»

Для различения времени производства разных материалов в TRGS вводятся следующие пометы:

«Начиная с 1996 года в Германии производится исключительно безопасная минераловатная продукция. Работа с данной продукцией не требует соблюдения никаких дополнительных требований, помимо установленных стандартом TRGS 500. Если информация о характеристиках продукции из минеральной ваты отсутствует (это в первую очередь касается работы с уже эксплуатируемыми изоляционными материалами), то, как правило, перед Вами старый минераловатный материал».

Практические советы по работе со старым минераловатным материалом приведены в инструкции Национальной строительной ассоциации "Работа с минеральной ватой: изоляционные материалы (стекловата, минеральная вата)" [BGBau Mineralfaser, 2010].

На сегодняшний день отсутствует трудовое положение о предельно допустимой концентрации волокнистой пыли, выделяемой минераловатными изоляционными материалами.

6.2 Утилизация

Производитель Rockwool предлагает вывоз старых изоляционных материалов при условии заказа новой продукции.

Если заказ новых материалов не планируется, производитель определяет, не был ли минераловатный материал произведен ранее 1995 года. Данную продукцию следует относить к категории "Опасные отходы". Ввиду того, что новый процесс производства изоляционных материалов внедрялся с 1995 по 2000 гг., то часть материалов, произведенных в этот период, также потенциально может попасть под категорию "Опасные отходы". В то же время, многие предприятия по переработке отходов вовсе не делают различий по времени производства материала. Это делается из тех соображений, что зачастую проверить точное время производства материала не представляется возможным.

Старые минераловатные материалы имеют номер переработки отходов (ASN) 170603*, новые материалы имеют номер ASN170604. Звездочка (*) показывает, что данный вид отходов представляет определенную опасность для окружающей среды и здоровья человека и классифицируется в соответствии с применимым законодательством. Для утилизации данных отходов применяются положения местного законодательства федеральных земель ФРГ. Таким образом, надлежащая утилизация находится в ведении местных органов власти.

Минеральную вату можно сжигать в мусоросжигательных установках.

7. Отступление 2: Плотность материалов и расчетные нагрузки

Производители минераловатной продукции больше не обязаны предоставлять данные о плотности своих материалов.

Тем не менее, указывать данную информацию необходимо: кровельные конструкции становятся все легче, минераловатные изоляционные материалы все плотнее, и при такой тенденции возникает опасность недооценки допустимого уровня нагрузок на материал при выполнении исключительно статистических расчетов. Табличные значения для расчетных нагрузок в соответствии со стандартом [DIN 1055-1: 2002-06] ориентированы на плотность 100 кг/м^3 ; при этом самая распространенная на сегодняшний день плотность изоляционных материалов из минеральной ваты составляет в среднем 150 кг/м^3 и более.

В случае значительного проникновения влаги в кровельную конструкцию, если в изоляционных плитах накапливается влага содержанием 50, 100 или даже 150 т%, то на материалы оказывается значительно более высокая нагрузка, чем та, которую можно вычислить статистически в соответствии с DIN 1055.

Так, по DIN 1055 плиты толщиной 14 см могут переносить сплошную нагрузку до $0,14 \text{ кН/м}^2$.

При плотности 150 кг/м^3 даже для сухих материалов показатель сплошной нагрузки уже составляет $0,21 \text{ кН/м}^2$, а в случаях долгосрочных повреждений и с содержанием влаги 50 т% и вовсе достигает $0,30 \text{ кН/м}^2$.

Разница в примерно $0,16 \text{ кН/м}^2$ составляет не менее 18-25% от стандартной снеговой нагрузки (в зависимости от условий снеговых осадков для того или иного региона).

Чтобы повышенные нагрузки на изоляционный материал или воздействие влаги не приводили к его деформациям, необходимо несколько повысить расчетные нагрузки на материал. Именно по этой причине следует обязать производителей начать вновь указывать данные о плотности своей продукции.

Указание данных о плотности было бы не менее полезным и для определения содержания влаги в снимаемых с кровли образцах; так можно будет установить содержание влаги без необходимости проведения сушки материала.

8. Изменение состояния минераловатного изоляционного материала в плоской кровле

8.1 Влияние влаги на теплопроводные качества материала

Сведения об изменениях теплопроводных качеств теплоизоляционных материалов под воздействием содержащейся в них влаги уже были обобщены в исследованиях Ахтцигера и Каммерера [Achtziger, Cammerer 1984]. В их работах были обобщены все измерения по минераловатным изоляционным материалам. Были собраны результаты испытаний 5 различных изоляционных материалов плотностью от 34 до 78 кг/м^3 . Измерение показателей материалов с более высокой плотностью ($62, 78 \text{ кг/м}^3$) проводилось на основе исследований

Йесперсена от 1953 г. При сравнении показателей водоотталкивающих и неводоотталкивающих минераловатных плит плотностью 45-50 кг/м³ существенных различий выявлено не было.

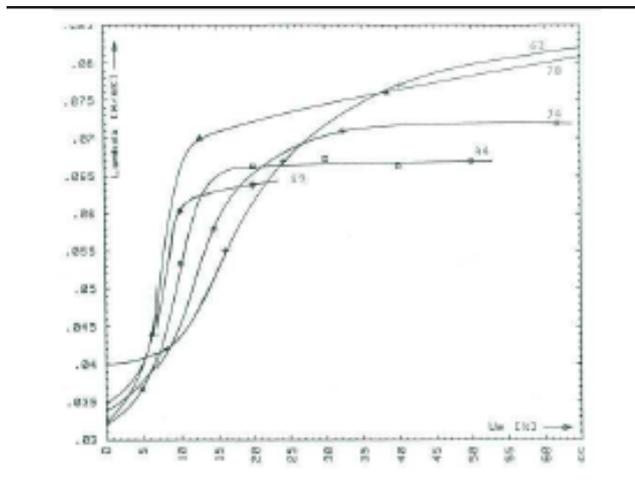
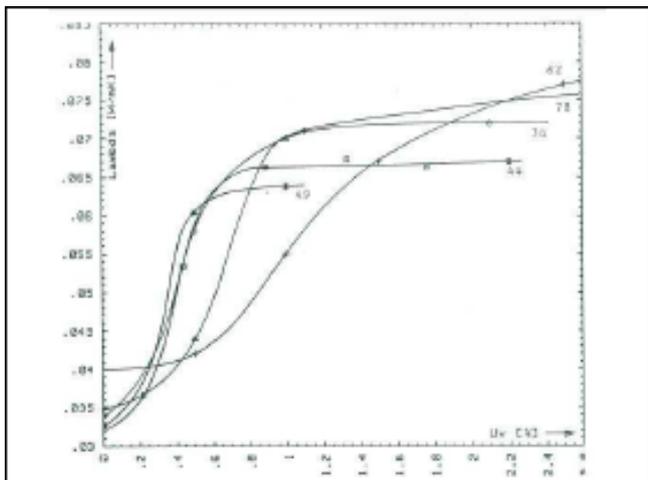


Рис. 35 и 36. Значения теплопроводности материала в зависимости от объемов (слева) и массы (справа) содержания влаги [Achtziger, Cammerer 1984]

На основе измеренных значений в более поздних публикациях были приведены данные по повышению теплопроводности материалов (в % на 1% содержания влаги, в т.ч. в зависимости от концентрации влаги). Для минераловатных материалов была предложена переменная Z, с помощью которой можно было вычислить изменения теплопроводности.

Тем не менее, эти данные не позволяют оценить состояние современной кровли, т.к. использованный метод не применим к теплоизоляционным материалам из минеральной ваты. Помимо этого, структура и плотность изоляционных материалов, исследованных на тот момент времени, не соответствует структуре и свойствам материалов, рассматриваемых в настоящей работе.

Измерения теплопроводности изоляционных материалов из минеральной ваты, подвергшихся длительному воздействию влаги, по этому методу Кюнцель назвал «далекими от практики» [Künzel 1988].

В соответствии с его аргументацией, в данной ситуации необходимо измерять не только теплопроводность, но и проводить комплексные измерения проводимости / диффузии в материалах. Видимое увеличение теплопроводности минеральных волокон по мере увеличения содержания влаги, на самом деле обусловленное процессом паровой диффузии, нельзя "списывать" исключительно на свойства изоляционного материала. Очевидным следствием этого является тот факт, что для изоляционных минераловатных материалов действует т.н. «нулевая» допустимость. Процесс влагопередачи необходимо противопоставить другим процессам, протекающим вне зависимости от свойств изоляционного материала (например пароизоляция).

Проведенная в 2001 г экспертиза FIW показала [Schreiner 2001], что теплопроводность минеральной ваты, подвергшейся воздействию влаги, почти полностью восстанавливается после сушки материала. Основной причиной снижения теплоизоляционных качеств является уменьшение толщины материала.

В рамках анализа строительных изоляционных материалов помимо уменьшения толщины были рассмотрены и случаи увеличения толщины.

При анализе изоляционных плит из минеральной ваты, подвергшихся воздействию влаги, было обнаружено, что при содержании влаги от 0 до 0,1 vol-% происходит изменение теплопроводных качеств материала, однако резкого повышения теплопроводности при повышении содержания влаги не отмечается.

Эти исследования теплопроводных качеств имеют и слабую сторону: дело в том, что при испарении и конденсации воды возникает эффект скрытой теплоты, искажающий результаты данных измерений. При активной влагопередаче тепловой поток ненадолго повышается, прекращаясь с ее завершением.

Кюнцель [Künzel 2011] делает предположение о том, что ввиду плотно закрепленных барьерных изоляционных слоев влага не имеет возможности испариться с поверхности плоской кровли. Летом влага, как правило, перемещается сверху вниз, в то время как в зимний период она концентрируется в основном под кровельным покрытием. При этом под кровлей может происходить непродолжительное удвоение тепловых потоков. При всем этом Кюнцель отмечает, что потери и приток тепла, как правило, лишь косвенно связаны с воздействием влаги.

На сегодняшний день не существует общепринятой методики определения теплопроводных качеств минераловатных материалов, подвергшихся воздействию влаги. Как было указано выше, на основе существующих методов установить четкую закономерность увеличения теплопередачи за счет повышения содержания влаги невозможно. Остается надеяться, что международные исследования (в конце 2010 г. Япония начала реализацию проекта "Оценка неточности измерений при повышенной влагопередаче", в котором принимает участие и Германия) в скором времени помогут разработать более точную систему расчетов. Воздействие скрытой теплоты зависит от температуры изоляционного материала, ввиду чего необходимо учитывать все влияющие на температуру материала факторы: цвет изоляционного материала, его толщину, свойства защитных слоев и т.д. Если возможность проанализировать все эти параметры отсутствует, то оценку можно сделать только на основе статистических расчетов, приведенных в работе Ахтцигера и Каммерера [Achtziger, Cammerer 1984]. Можно сделать предположение о том, что реальная потеря тепла будет значительно ниже показателей, полученных в результате лабораторных измерений теплопроводности.

8.2 Устойчивость к нагрузкам (проверка на прочность при сжатии)

Для систем плоской кровли большое значение имеет устойчивость изоляционного материала к разного рода нагрузкам. Очень важно, чтобы кровля имела надежную опору: тогда изоляционный материал не будет деформироваться при нагрузках или будет легко возвращаться к первоначальной форме после кратковременных нагрузок. Только при соблюдении этих условий будет достигнут желаемый изоляционный эффект. Ввиду своей гибкости, минераловатные изоляционные материалы имеют ряд преимуществ с точки зрения устранения и предотвращения

зазоров в местах стыковки материала. Тем не менее, устойчивость минеральной ваты к нагрузкам и давлению оставляет желать лучшего. Минераловатная изоляция состоит из множества мелких волокон, которые сами по себе не отличаются высокой устойчивостью к нагрузкам. При повреждении отдельных волокон или связей между ними теряются и прочностные свойства материала, и его устойчивость к нагрузкам. При любом сильном давлении на материал происходит разрушение его волокон и связей между ними; может вызываться частичное необратимое уплотнение волокнистой структуры. Ввиду этого, данный материал может выдержать лишь ограниченное количество нагрузок.

В статье Клозе [Klose 1993] данные свойства уже в 1993 году описывались следующим образом:

«Регулярные нагрузки на изоляционные плиты из каменной ваты приводят к потере их прочности, что, к сожалению, достаточно характерно для данного материала. Так, после оказания нагрузки в 65 кН/м^2 и сжатия 10% и вызванной этим деформации уже нельзя ожидать, что материал сможет вынести такую нагрузку во второй раз. Повторные лабораторные исследования показали, что уже 5-кратное повторение цикла нагрузки при сжатии 10% приводит к необратимой потере прочности материала на 30-40%».

Клозе также дает оценку нагрузкам, провоцируемым кровельщиками во время строительных работ [Klose 1993]:

«При среднем весе 75 кг и площади ботинка 27 см x 9 см кровельщик провоцирует нагрузку в пределах всего лишь 31 кН/м^2 и 34 кН/м^2 , если он работает в защитной обуви. Специалист также поднимает кровельные рулоны и другие строительные материалы, за счет чего оказываемая им нагрузка увеличивается до примерно 46 кН/м^2 ».

Формулировка "всего лишь" в данной цитате относится к сопоставлению нагрузки, провоцируемой кровельщиками, по сравнению с нагрузками от использования строительной техники, которая, по оценкам Клозе, может достигать до 140 кН/м^2 (= 140 кПа).

Именно поэтому Клозе призывал к осторожности при работе с техникой и строительными материалами на поверхности уже закрепленных изоляционных материалов. Чтобы избежать их деформации под таким весом, необходимо как можно больше распределять нагрузку по всей кровельной поверхности.

По расчетам Клозе, для кровли с механическим креплением нагрузка при сжатии 10% составляет не менее 60 кПа [Klose 1995]. По словам Клозе, "нагрузка на материал должна составлять не более 35 кПа при его долгосрочной эксплуатации".

На это значение ссылаются и производители, упоминая его в качестве граничного значения при оценке повреждений кровельных изоляционных материалов. При этом, по всей видимости, не делается различий по типу изоляционного материала, количеству защитных слоев или расчетному сроку эксплуатации. Официального ответа на соответствующие вопросы от производителей получено не было (см. анкета для производителей в Приложении).

Ахтцигер и Хоффманн [Achtziger, Hoffmann 1990] провели исследование взаимосвязи между устойчивостью материала к нагрузкам и содержанием в нем влаги. В рамках данных исследований образцы минераловатного материала высокой плотности (144 кг/м^3) были погружены в воду, после чего была замерена их устойчивость к нагрузкам (сжатию) и определены стадии высушивания. При этом начальная устойчивость в пределах 80 кПа после сжатия 10% упала до 60 и 40 кПа.

Vol-%	m%	Прочность при сжатии 10%
39	270	прим. 60 кПа
22	152	прим. 40 кПа
5	35	прим. 40 кПа
0	0	прим. 60 кПа

Рис. 37. Значения устойчивости материалов к нагрузкам при сжатии 10% после погружения образцов минераловатного изоляционного материала (144 кг/м^3) под воду и их постепенного высушивания [Achtziger/Hoffmann 1990]

На основе результатов данного исследования был сделан следующий вывод: *«При воздействии влаги устойчивость минераловатных изоляционных плит в условиях сжатия 10% значительно снижается. В то же время, показатели устойчивости материала, полученные после сушки, по-прежнему значительно выше минимальных установленных значений»*. По действующим на тот момент стандартам, устойчивость материала при сжатии 10% должна была составлять 40 кПа.

Ниже будут представлены результаты соответствующих измерений на примере более новых изоляционных материалов.

8.3 Гигротермические нагрузки на минераловатный материал

Реальные условия гигротермических нагрузок на изоляционный материал в кровельных изоляционных системах были воссозданы в рамках исследования [Ploim, Künzel 1998] посредством расчетов нестационарного тепло- и влагопереноса. Плольм и Кюнцель пришли к выводу, что сочетание высоких температур ($> 30^\circ\text{C}$) и высокой относительной влажности ($> 95\%$) очень редко встречается в реальных условиях. Это *«вполне объяснимо, т.к. связанная с этим высокая абсолютная влажность немедленно приводит к диффузионному переносу в участки с более низкой абсолютной влажностью. Данный процесс приводит к критическим гигротермическим нагрузкам на минераловатный материал, быстро разрушающийся ввиду высокой паропроницаемости»*. Исследователи также отмечают, что *«испытания на устойчивость, проводимые при экстремальных температурных условиях и повышенной концентрации посредством SOG»* имеют очень ограниченное применение для оценки состояния изоляционных плит на стадии строительных работ ввиду того, что подобные

условия почти никогда не встречаются на практике. Экстремальные условия, не имеющие ничего общего с реальными условиями эксплуатации, следует заменить на более приближенные к реальным условиям параметры оценки.

Соответствующие сравнения данных лабораторных расчетов и полевых испытаний на плоской кровле были опубликованы в работе [Zirkelbach, Künzel, Bludau 2007]. В рамках данной работы преследовалась цель разработать новые условия для испытаний изоляционных материалов, которые бы позволили предсказать их устойчивость к старению в более реалистичных условиях. Данные исследования подтвердили, что сочетание в плоской кровле повышенной влажности воздуха и высоких температур происходит сравнительно редко, т.к. влагопередача предотвращает продолжительное присутствие таких условий ввиду диффузионных процессов. Соответственно, более экстремальные климатические нагрузки для плоской кровли рассчитывались из более высоких температур (макс. темп. 60°C) и более высокой влажности (80-100%), чем тех, характерных для реальных условий проведения строительных работ. Тем не менее, при этом берется за основу сравнительно более низкое содержание влаги в материале (2 кг/м²). Для воссоздания таких условий в лаборатории был установлен распылитель воды.

В качестве предварительного результата исследования было вынесено предположение о том, что анализ особенностей старения должен проводиться в реальных температурных условиях и при характером (стандартном) содержании влаги в воздухе.

Отмечается, что после проведения полевых испытаний можно сделать вывод о способности изоляционного материала (вероятнее, имеется в виду сухой материал) восстанавливать свои прочностные свойства. Такого эффекта нельзя ожидать после проведения испытаний в экстремальных температурных и атмосферных условиях. Помимо этого, необходимо снизить продолжительность испытаний с одного года до одной недели. Даже этот срок превышает 100 часов испытаний в экстремальных условиях (по сравнению с испытаниями в реальных условиях).

8.4 Неприятный запах

Зачастую снятие образцов минераловатного утеплителя, подвергшихся воздействию влаги, сопровождается неприятным сильным запахом, напоминающим запах рыбы. Этот запах провоцируется аминами, образующимися при разложении связующих веществ минеральной ваты под воздействием влаги.

При правильном монтаже конструкций между паровым заслоном и гидроизоляционным слоем образуется герметичное пространство. Однако, если сами изоляционные плиты не герметичны или они были негерметично закреплены на кровельной конструкции, то неприятный запах влажной минеральной ваты может попасть во внутреннее пространство здания и ограничить возможность его эксплуатации.

9. Обзор продукции

Можно сказать, что в Германии изоляционные плиты из минеральной ваты, предназначенные для использования в устойчивых к нагрузкам системах теплой кровли, предлагаются на сегодняшний день тремя производителями: Rockwool, Isover и Knauf Insulation.

Торговая марка Rockwool Durock занимает значительную долю рынка изоляционных материалов. Верхний слой материала данной марки (прим. 2 см) является более плотным и обладает большей устойчивостью к разного рода нагрузкам во время эксплуатации. На сегодняшний день компания предлагает изоляционные плиты не только со стандартным показателем теплопроводности $\lambda = 0,040$ Вт/мК, но и с показателем $\lambda = 0,037$ Вт/мК.

Изоляционные плиты Rockwool Hard Rock предназначены для еще более высоких нагрузок.

Существуют и еще более стойкие к нагрузкам плиты Rockwool Megarock. В первую очередь, они рассчитаны для использования на кровельных поверхностях, подвергающихся постоянным нагрузкам; например, крыши, оборудованные аварийными выходами или солнечными установками.

Изоляционные плиты имеют прочное, усиленное стекловолокном покрытие, перераспределяющее нагрузку на поверхность материала. Производитель указывает следующие цены на изоляционные плиты толщиной 120 мм (по состоянию на 01.06.2011):

Durock 037	29,55 €/м ²
Durock 040	26,40 €/м ²
Hardrock 040	27,70 €/м ²
Megarock	45,10 €/м ²

10. Предположения относительно потери прочности

Вне зависимости от нагрузок на материал или воздействия влаги, по мере ослабления внутренних связей между волокнами (полученных в результате охлаждения во время производства) прочность изоляционного материала со временем уменьшается.

При превышении пределов упругости волокон они легко разрушаются при самой незначительной нагрузке.

Существует несколько теорий относительно воздействия влаги на структурную прочность изделий из минеральной ваты:

1. Снижение адгезионных свойств волокон в результате воздействия воды (пара)
2. Гидролиз минеральных волокон, их распад и разложение в результате воздействия кислот

3. Отделившиеся и разорванные волокна не могут обеспечивать структурную целостность материала в "плавающем" состоянии, т.к. они расходятся и не крепятся в вертикальном положении.

До сегодняшнего дня еще не проводились исследования по воздействию влаги на структуру волокон минеральной ваты. Эксперты признают, что влага оказывает разрушающее воздействие на связующие вещества минеральной ваты и, вследствие этого, вызывает необратимые структурные изменения волокон материала.

Клозе так описывает данную взаимосвязь: адгезионный состав между волокнами материала "по своим характеристикам крайне чувствителен к воздействию воды (пара)" [Klose 1995].

Опыт эксплуатации на плоской кровле образцов, подвергшихся значительному воздействию влаги, показывает, что устойчивые к нагрузкам минераловатные плиты не имеют признаков полного распада. Это значит, что либо не пострадало большинство соединений между волокнами, либо устойчивость минераловатного материала к нагрузкам не в первую очередь зависит от адгезионных качеств его волокон.

Сами волокна сильно подвержены процессу гидролиза, они легко разрушаются и поддаются процессу коррозии. В то же время, коррозии не происходит при наличии у волокон водоотталкивающих свойств. В этом случае верхняя поверхность материала вовсе не вступает в контакт с водой. Влага может оказывать разрушающее воздействие только в том случае, если волокна материала не обрабатывается достаточным количеством пропиточного масла во время производства или если водоотталкивающий слой распался или подвергся процессу старения. Гидролиз волокон не должен играть значительной роли при эксплуатации изоляционных материалов высокого качества (и относительно недавнего производства).

Также спорным является вопрос, какое физическое состояние воды (пар, жидкое состояние, лед или конденсат) с большей вероятностью принесет ущерб минераловатному материалу.

Если бы были известны механизмы воздействия влаги на структуру волокон минеральной ваты, то можно было бы делать относительно точные прогнозы относительно срока жизни минераловатной изоляции, подвергшейся воздействию влаги. Тем не менее, таких исследований еще не было проведено, или их результаты еще не были обнародованы.

Помимо этого, не решенным остается вопрос, связана ли потеря прочности материала с механическими нагрузками на него. Нагрузки на материал могут приводить к разрыву волокон, нарушению связей между ними или деформации эластических структур.

Не вызывает сомнений, что разрушение волокнистой структуры находится в пропорциональной зависимости от количества механических нагрузок на материал и что любая нагрузка (перегрузка) даже части материала вызывает его необратимые повреждения. По этой причине, при повторной проверке уже испытанных образцов на устойчивость к нагрузкам результаты бывает

значительно хуже.

Именно поэтому, чтобы оценить возможность дальнейшей эксплуатации уже используемых минераловатных изоляционных плит, подвергшихся воздействию влаги, необходимо сначала определить, какому воздействию влаги и каким механическим нагрузкам эти плиты могут подвергаться в будущем. После получения новой информации о долгосрочном воздействии влаги, скапливающейся в слоистом пакете материала, можно будет делать более точные прогнозы относительно ожидаемого срока жизни изоляционного материала.

11. Опрос экспертов

В рамках опроса, основные положения которого описываются ниже, экспертам были заданы вопросы, 1) на каком научном основании они проводили анализ/оценку кровельной поверхности и 2) есть ли поверхности с уже эксплуатируемыми изоляционными плитами, подвергшимися долгосрочному воздействию влаги, которые можно было бы исследовать.

11.1 Введение

Практический опыт работы с теплоизоляционными минераловатными материалами, подвергшимися воздействию влаги, был обобщен на основе опроса в общей сложности 1978 экспертов. Опрос был составлен для 1114 специалистов в области повреждения зданий, 485 экспертов кровельной отрасли и 410 специалистов в сфере гидроизоляции зданий (некоторые эксперты выполнили опрос сразу по нескольким темам). Почти 10% (185 чел.) участников полно и развернуто ответили на отправленные им вопросы [см Приложение «Опрос экспертов»], частично описали некоторые случаи возникновения ущерба и согласились ответить на дополнительные вопросы в рамках телефонного разговора.

В целом была собрана и проанализирована информация по 566 объектам с минераловатной изоляцией, подвергшейся воздействию влаги. При этом рассматривались исключительно случаи возникновения ущерба за последние 10 лет.

В анкетах в первую очередь спрашивалось, как следует обращаться с изоляционным материалом, подвергшимся воздействию влаги (заменить, продолжить эксплуатацию после сушки, заменить фрагмент материала, ничего не предпринимать) и исходя из каких критериев принимается соответствующее решение. Также была собрана информация по методологии анализа для определения степени проникновения/воздействия влаги.

Был сформулирован вопрос, располагают ли эксперты многолетним опытом работы с отремонтированной кровлей, минераловатная изоляция которой подверглась воздействию влаги, но была оставлена в местах поперечного сечения.

11.2 Критерии принятия решения по возможной замене изоляционных материалов

Большинство опрошенных экспертов признали, что чаще всего они рекомендуют замену подвергшегося воздействию влаги минераловатного материала. В то же время, четкого определения понятия «подвергшийся воздействию влаги минераловатный материал», как правило, не предоставлялось (см. Раздел 11.3 "Методы испытаний для определения содержания влаги").

Если разделить рекомендации экспертов по проведению восстановительных работ на категории, то их соотношение будет выглядеть следующим образом:

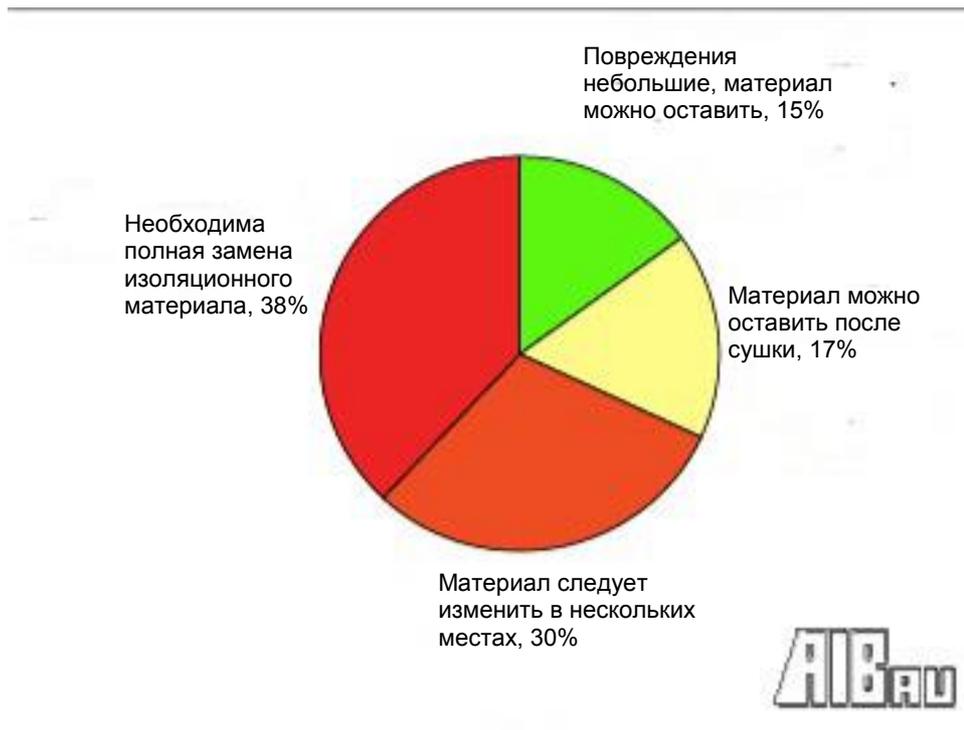


Рис. 38. Соотношение рекомендаций экспертов относительно необходимости замены или продолжения эксплуатации влажного изоляционного материала

У специалистов зачастую отмечались противоположные мнения относительно плана действий в случае возникновения ущерба; как правило, эксперты предлагали сразу несколько решений данного вопроса. На данном графике показано, какие рекомендации были сделаны отдельными экспертами по выше рассмотренным случаям из практики:

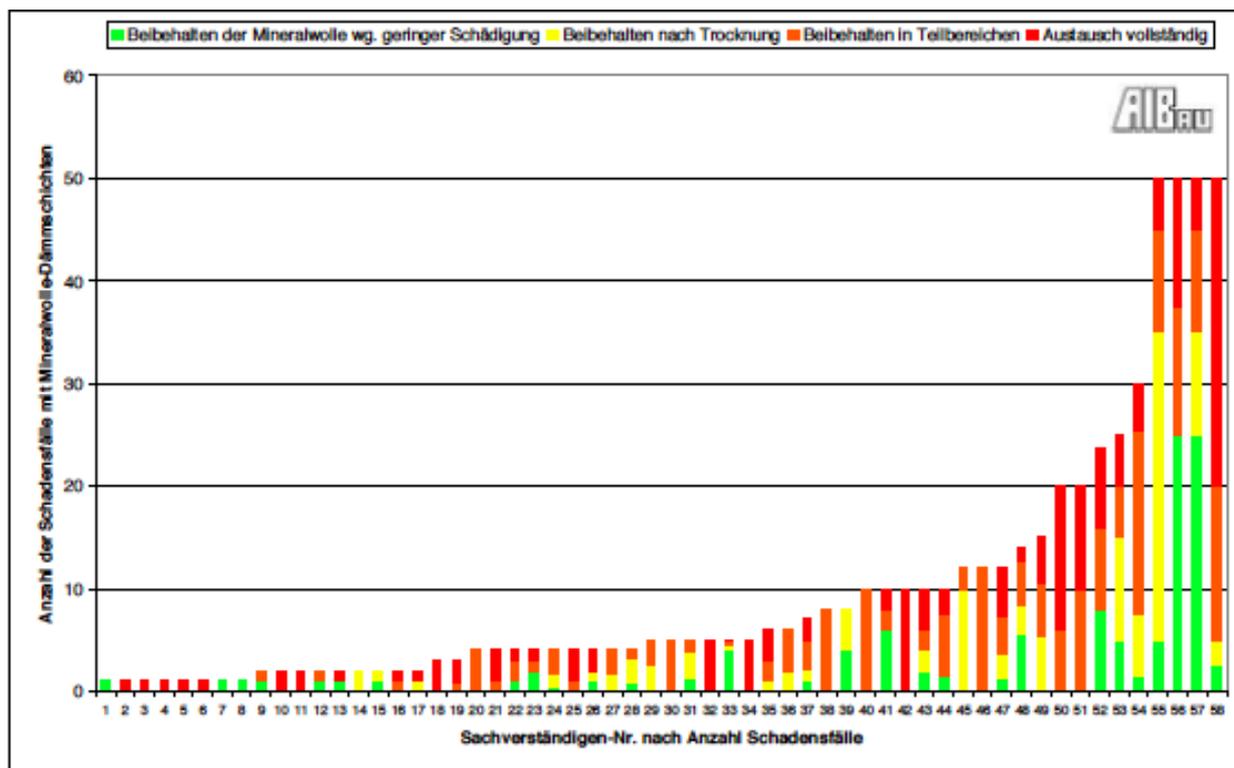


Рис. 39. Различия в рекомендациях экспертов в зависимости от кол-ва случаев наступления ущерба: 1) повреждение небольшое, материал можно оставить (зеленый), 2) материал можно оставить после сушки (желтый), 3) материал можно оставить лишь частично (оранжевый), материал необходимо заменить (красный)

В качестве причины обязательной замены материала назывались:

- Уменьшение толщины изоляционного материала под воздействием влаги (даже без механических нагрузок).
- Правовые соображения (притязания на предоставление гарантии на материал)
- Ослабление связей между волокнами под воздействием влаги
- Впитывание дополнительной влаги (помимо уже имеющейся), изоляционный материал подобен губке
- Влажный минераловатный материал представляет серьезную проблему для несущих конструкций (фундамента) из бетона, т.к. в данном случае скопление влаги удалить невозможно (трапецеидальные плиты).
- Риск образования плесени

По мнению некоторых специалистов, необходимо полностью заменять изоляционные материалы, для поверхности которых можно спрогнозировать более высокую нагрузку в будущем (например, если планируется монтаж фотоэлектрической солнечной установки).

Почти все респонденты выражают общую точку зрения в работе с минераловатной изоляцией, подвергшейся сильному воздействию влаги. Под сильным воздействием влаги понимается более 20-30 m% содержания влаги или наличие стоячей воды в изоляционном слое. В таких ситуациях, чаще всего, необходима полная замена минераловатной изоляции.

Некоторые эксперты подчеркнули, что принятие решение по замене изоляции зависит и от величины затрат на восстановительные работы (больше затрат на

восстановление озелененной кровли). Если изоляцию можно заменить по приемлемой цене, то данная мера оценивается как предпочтительная. Некоторые специалисты также отмечали сильное загрязнение изоляционного материала или неисправность пароизоляции среди факторов, влияющих на решение о замене изоляционной системы.

Ключевым критерием принятия решения о том, можно ли оставить изоляционный материал, почти всегда называлась степень содержания в нем влаги. Если содержание влаги лишь немного превышало уровень "равновесной влажности" (~1,5 m%), то многие респонденты говорили о возможности продолжения эксплуатации изоляционной системы.

Один из экспертов даже привел в качестве приемлемого граничное значение 5 vol-% (т.е. 33 m% при плотности 150 кг/м³). Таким образом, для этого специалиста приемлемым было намного более высокое содержание влаги, чем для большинства его коллег. На одном объекте ему удалось выполнить повторные измерения после 5 лет простоя здания. За этот период времени содержание влаги уменьшилось незначительно / уменьшение нельзя было доказать путем измерений.

Три специалиста отметили, что даже восстановительные работы при сохранении изоляционного материала, подвергшегося незначительному воздействию влаги, не привели к желаемому результату.

11.3 Методы определения содержания влаги

Определение содержания влаги в изоляционных материалах в примерно 65% случаев было сделано путем простого ощупывания материала. Лишь 12% экспертов отметили, что они провели бы простые расчеты, чтобы сравнить вес образца и его плотность.

35% экспертов определили содержание влаги весовым методом (взвешивание образцов, сушка до постоянного веса, повторное взвешивание); можно было давать двойные ответы. Для определения содержания влаги (и качественного сравнения влажных и сухих участков) использовались и другие измерительные приборы и методы.

Примерно 63% опрошенных экспертов при оценке повреждений использовали показатель равновесной влажности по стандарту DIN 4108-4:1998-03 (1,5 m%). Шесть из них дали ссылку на другие источники или привели другие производственные стандарты.

Так, один специалист определяет распределение влаги в изоляционном материале посредством своего рода промокательной бумаги, "методом оттиска".

11.4 Состояние изоляционных материалов, подвергшихся воздействию влаги

Следующие изменения в структуре минеральной ваты были обнаружены в результате воздействия влаги:

Некоторые специалисты утверждают, что в месте соприкосновения с кровельным покрытием изоляционный материал расщепляется (подобно слоеному тесту) или происходит разрыв его волокон. Один специалист упомянул о так называемой "коррозии волокон".

При глубоком проникновении влаги материал слипается, и происходит необратимое склеивание его волокон.

Отмечается, что связующие вещества также теряют свои качества.

Помимо механических повреждений и высокого содержания влаги эксперты отмечают проблему сильного неприятного запаха. В некоторых случаях он отчетливо напоминает запах испортившейся рыбы или кала. Вероятно, это связано с выделением аминов, присутствующих в связующем веществе материала в качестве катализатора. Особую проблему неприятный запах представляет в тех случаях, когда не исправен герметичный слой.

11.5 Воздействие многократных повторяющихся механических нагрузок

Некоторые участники опроса придерживаются мнения, что изоляционный материал теряет свои прочностные свойства в первую очередь из-за механических нагрузок, например при активном использовании крыши в качестве аварийного выхода, в результате проведения ремонтных работ и т.д. Данная точка зрения основывается на том факте, что поврежденные изоляционные материалы зачастую находятся в самых эксплуатируемых участках кровли (участки освещения, места выхода на крышу, области обслуживания солнечных установок).

Эта теория подтверждается наблюдениями механизмов повреждения одним из экспертов; он установил, что влага была очень равномерно распределена по всей кровельной поверхности, в то время как устойчивость поверхности к нагрузкам сильно отличалась на разных участках кровли. Другой специалист отметил, что снижение устойчивости к дополнительным нагрузкам отмечалось в тех областях, где изоляционный слой был сухим.

Часто отмечалось, что устойчивость материала к нагрузкам не снижается даже при содержании влаги в пределах 3-4 m%.

11.6 Повреждение механических креплений кровельного покрытия

Снижение устойчивости изоляционных плит из минеральной ваты к нагрузкам может представлять проблемы для механических креплений гидроизоляции ввиду исчезновения необходимого прижимного давления. Проникновение воздуха может привести к "расшатыванию" плит и возможному повреждению всей кровельной конструкции.

11.7 Сушка минераловатных изоляционных материалов

Для большинства респондентов техническая сушка не является полноценной альтернативой замене изоляционной системы. Это объясняется тем, что

существующие методы проведения сушки не позволяют достичь желаемого эффекта. 15 специалистов привели несколько случаев, когда влажные изоляционные материалы из минеральной ваты были высушены непосредственно на плоской кровле. В 4 случаях процесс технической сушки прошел "успешно". В других 7 случаях сушка прошла безуспешно, а еще в 7 случаях проверить результаты сушки было невозможно или они не были обнародованы (можно было дать двойной ответ).

В качестве еще одного аргумента было отмечено, что при сильном воздействии влаги на минераловатный материал, как правило, сильно повреждается его структура, и уже только поэтому необходима замена поврежденного материала; техническая сушка данной ситуации не исправит.

2 специалиста отметили, что производители изоляционных систем не дают никакой гарантии на высушенный материал, и прибегать к данной процедуре не следует.

У двоих специалистов был накоплен обширный опыт в области установки вентиляционных люков. По их словам, благодаря правильной установке вентиляции изоляционный материал высушивается автоматически уже через 1-2 летних сезона.

11.8 Выводы по проведенным опросам

Консультации со специалистами показали, что на практике решения по замене изоляционного материала принимаются по-разному и что в основном эксперты ориентируются на конкретные условия случая возникновения ущерба. Результаты исследования не выявили единого подхода к решению проблемы воздействия влаги на минераловатные изоляционные материалы.

Специалисты рекомендовали замену материала особенно в тех случаях, когда помимо высокого содержания влаги отмечались другие негативные факторы (уже имеющиеся повреждения подстилающего слоя, степень старения всей конструкции и т.д.).

При предельно высоком содержании влаги и наличии в конструкции стоячей воды, а также зрительно различимых повреждениях изоляционного материала, все специалисты рекомендовали его немедленную замену.

Особенно при наличии гарантийных претензий специалисты считают полную замену изоляционного материала, подвергшегося воздействию влаги, единственным способ восстановить свои права по гарантии. Данная рекомендация подкрепляется и действиями самих производителей изоляционных систем, которые не указывают граничные значения содержания влаги для своей продукции.

Регулярные нагрузки на поверхность материала могут вызывать определенные проблемы, но должны рассматриваться независимо от содержания влаги в изоляционном материале. Чаще отмечалось уменьшение прочности и устойчивости к нагрузкам материалов, регулярно подвергающихся механической нагрузке.

Техническую сушку большинство экспертов не рассматривает в качестве эффективного метода восстановления материала.

(Вероятнее всего, высокое содержание влаги часто приводится в качестве причины для замены теплоизоляционных плит еще и потому, что надежные критерии оценки устойчивости изоляционного материала к эксплуатационным нагрузкам отсутствуют!)

12. Опрос компаний, специализирующихся на высушивании зданий

12.1 Опрос и общие выводы

Помимо опыта экспертов и производителей, в рамках настоящего исследования был собран опыт предприятий, занимающихся высушиванием зданий с плоской кровлей, а также изоляционных слоев и стяжки.

После установления телефонного контакта рядом компаний была отправлена состоящая из двух частей анкета; была озвучена просьба направить анкету в т.ч. в филиалы и офисы партнеров (см. Приложение: Анкета для компаний, специализирующихся на высушивании зданий). Представители компаний должны были заполнить анкету и, по возможности, назвать объекты, которые либо были недавно высушены, либо будут высушены в ближайшем будущем.

В общей сложности было заполнено 10 анкет. Только в 8 анкетах содержались данные о конкретных случаях возникновения ущерба. В последних 2 анкетах приводился опыт работы филиалов предприятий.

Всего за последние 10 лет опрошенные предприятия обработали

- примерно 215 случаев повреждения плоской кровли
- примерно 12 300 случаев повреждения стяжки

в т.ч. при проникновении значительного количества влаги в минераловатные изоляционные материалы. Два предприятия не занимаются такими случаями повреждения. Потенциальные объекты для проведения исследований названы не были.

Опыт работы с изоляцией пола под стяжку

При высушивании стяжки воздух над отверстиями под стяжку вакуумируется (каждые 3-5 м²) и пропускается по боковым швам. Температура сушки превышает стандартную температуру не более, чем на 30-35°C. Способ вакуумного высушивания, при котором также применяется фильтрация, предотвращает возможность высвобождения волокон.

Сушка также может проводиться при сверхвысоком давлении. Однако в этом случае боковые швы герметизируются таким образом, чтобы не происходило высвобождение волокон минеральной ваты.

При скоплении стоячей воды в изоляционном слое рекомендуется предварительно высосать воду, например на боковом участке поверхности.

Были собраны следующие сведения по сушке изоляционного материала под стяжку: в примерно 89% случаев сушка прошла успешно, после данной процедуры конструкция была полностью готова к эксплуатации. Лишь в 11% случаев сушка не привела к желаемому эффекту. Среди возможных причин неудачи можно назвать:

- Ослабление стяжки после сушки, склеивание изоляционного материала
- Распад минеральной ваты в результате длительного воздействия воды/механических нагрузок. Поврежденный таким образом минераловатный материал восстановлению не подлежит. В таких случаях специализированные компании, как правило, отказываются от проведения сушки.
- Очень давние следы воздействия влаги, образование плесени
- Неверная оценка ситуации

Сушка изоляционных материалов под плавающую стяжку была введена в 80-х гг. одним из предприятий, принявших участие в анкетировании. В рамках крупномасштабного испытания фрагмент плавающей стяжки (с минераловатной изоляцией) был "затоплен" вплоть до верхней кромки, а затем высушивался в течение 15 дней потоком сухого воздуха. После измерения содержания влаги в изоляционном материале и состояния звуко- и шумоизоляционной системы констатировалось полное восстановление первоначальных свойств и, соответственно, практическая применимость данного метода.

По данным других респондентов, "свежие" повреждения легко устраняются при помощи сушки, шумоизоляционные свойства восстанавливаются полностью. Однако в тех случаях, когда изоляционный слой уже поврежден плесенью, "размяк" или склеился, то необходимого эффекта сушка не приносит.

Ослабление стяжки может начаться либо до проведения сушки (под воздействием воды), либо во время данного процесса.

Опыт работы с изоляцией плоской кровли

Сушка плоской кровли проводится при сочетании процессов всасывания и оказания давления на материал и кровельное покрытие. Температура наружного воздуха должна составлять не менее 6-8°C. В участках размером от 20 м² до 50 м² образуются отверстия, в которые вдувается предварительно высушенный воздух. Температура и относительная влажность подаваемого и извлекаемого воздушных потоков постоянно контролируется. Сопоставление полученных значений позволяет сделать выводы о результатах сушки. Время сушки составляет в среднем от 3 до 4 недель. Стоячая вода предварительно откачивается с поверхности изоляционного слоя.

Сушка минераловатных материалов на плоской кровле проходит успешно в 98% случаев; лишь в 2% случаев процесс сушки проходит неудачно. Причиной неудачи можно считать глубокое проникновение влаги и связанное с ним внутреннее разрушение изоляционного материала. В таких случаях от проведения сушки, как правило, отказываются.

Процесс сушки возможен, пока минераловатный материал остается влажным и твердым. Однако если в изоляционном материале отмечается такое высокое содержание влаги, что ее нельзя отжать или если минеральная вата распадается на волокна, то проводить сушку смысла не имеет.

По данным другого респондента, процесс сушки, как правило, проходит успешно и позволяет устранять повреждения без нанесения вреда изоляционному слою. Тем не менее, владельцы зданий чаще всего предпочитают установить новую изоляционную систему вместо высушивания старой. К процессу высушивания не

рекомендуется прибегать в тех случаях, когда поверхность изоляционного материала деформирована или когда влага присутствует на изоляционном материале в течение долгого времени. Для оценки необходимости проведения сушки, как правило, требуется консультация эксперта.

Определение содержания влаги в изоляционном материале

5 из 8 предприятий определяют содержание влаги в изоляционном материале методом ощупывания; в одном предприятии применяется сушка. Разные компании используют различные приборы для измерения содержания влаги в изоляционных материалах и прогнозирования успеха сушки. При этом используются как электронные измерители влажности, так и приборы, измеряющие относительную влажность в воздушном потоке (до и после сушки) или в сформированном отверстии (сопоставление с воздухом в помещении). Сравнение найденной таким образом относительной влажности позволяет сделать вывод о потенциальном успехе проведения сушки.

В большинстве компаний (5 из 8) по стандарту DIN 4108-4: 1998-03 вычисляется равновесная влажность – это широко признанный критерий оценки необходимости проведения сушки. В 2 компаниях данная оценка проводилась посредством электронного влагомера. Последнее предприятие не предоставило никаких данных по этому вопросу.

12.2 Интерпретация результатов опроса

У компаний, специализирующихся на высушивании зданий, больше всего опыта имеется по сушке влажных минераловатных изоляционных материалов под стяжкой. "Свежие" повреждения, как правило, легко устраняются посредством проведения сушки. Проведение сушки признается нецелесообразным при восстановлении более давних повреждений, вызванных высоким содержанием влаги и дополнительными нагрузками, а также при разложении минеральной ваты или поражении ее плесенью. Похожие выводы были сделаны и по проведению сушки минераловатных изоляционных слоев плоской кровли.

Эти данные предприятий, занимающихся высушиванием зданий, противоречат опыту экспертов по данному вопросу (см 11.7). С точки зрения экспертов, техническая сушка не приводит к положительному результату (или результаты проведения сушки невозможно проверить) в примерно 40% случаев.

Столь разнящиеся данные могут объясняться тем, что экспертов чаще всего задействуют при оценке более старых повреждений, при которых сушка не будет иметь никакого эффекта, или тем, что успешное проведение сушки зачастую не документируется должным образом.

Компании, проводящие сушку, чаще всего оценивают потенциальный успех данной процедуры путем определения относительной влажности воздуха (до и после сушки) или, в определенных случаях, путем определения содержания влаги специальными электронными приборами. В качестве ориентира используется показатель равновесного содержания влаги по стандарту DIN 4108-4:1998-03 принят.

При этом производится проверка содержания влаги в участках изоляционного материала, установленных в местах, где необходимо проведение высушивания, и постоянно находящихся под воздействием воздушного потока. На сегодняшний день отсутствуют данные о том, до какой степени эти результаты контрольных замеров могут помочь составить представление о всей кровельной поверхности.

Ни одна из опрошенных компаний не предоставила данные по строительным объектам для дальнейшего изучения.

13. Опрос производителей изоляционной продукции

В рамках данного исследовательского проекта предполагалось опросить производителей изоляционной продукции об их опыте по борьбе с воздействием влаги на изоляционные материалы. К сожалению, производители не были готовы предоставить информацию по этим вопросам.

Ввиду этого, мы можем ссылаться исключительно на письменные рекомендации производителей, представленные в брошюрах к изоляционной продукции.

Так, следующая информация представлена в брошюре производителя Rockwool [Rockwool 2011]:

«Высушенная кровельная конструкция, как правило, может частично сохранять свои эксплуатационные свойства после восстановительных работ. Однако, если кровельная конструкция подверглась сильному воздействию влаги или если на пароизоляции наблюдается значительное скопление воды, то лучшим решением будет полная замена материала.

Во многих случаях через небольшие отверстия в кровле во внутреннюю конструкцию попадает определенное количество воды. При этом изоляционный материал еще не подвергся воздействию влаги, но уже имеет признаки ее проникновения; поверхность изоляции может быть слегка увлажненной. В таких случаях может потребоваться лабораторный анализ, призванный установить точное содержание влаги в теплоизоляционном материале.

При этом очень важно обеспечить герметичную транспортировку образцов до лаборатории (например, в плотном полиэтиленовом пакете), а также достаточное количество образцов оптимального размера. Чтобы максимально продлить срок эксплуатации изоляционных плит Rockwool, необходимо поддерживать нормальный уровень влаги, не допуская его превышения».

В частности, это означает, что замене подлежат изоляционные материалы с содержанием влаги более 1,5 м%.

В соответствии с данной рекомендацией, замене подлежат многие изоляционные материалы, имеющие высокие эксплуатационные свойства и чья пригодность к использованию была ограничена лишь незначительно.

Производитель не указывает причины, почему при превышении содержания влаги более 1,5 м% его изоляционный материал больше не пригоден для эксплуатации. В отличие от изоляционных пеноматериалов, структура которых терпит лишь

незначительные изменения при гораздо более сильном воздействии влаги, изоляционные материалы из минеральной ваты намного более чувствительны к внешним условиям.

14. Сравнение образцов минераловатного материала

Для выяснения вопроса о том, зависит ли состояние влажных образцов минеральной ваты от состава их материала, был произведен анализ состава ряда образцов.

Для этого с 3 различных объектов было снято 6 образцов (рис. 40). Производитель материала был известен только в одном случае. Изоляционные материалы были проанализированы в лаборатории Rockwool методом рентгенфлуоресцентного анализа; при этом фиксировались любые отклонения от нормы.

Сопоставление образцов не выявило прямой взаимосвязи между содержанием влаги и структурными изменениями в материале:

Состояние	Произво	Место	Влага	Длит-ть	Положение	Изоляция	Нагрузка	
мягкое	A-	F	152 m%	6 лет	Верхн.	EVA	Дополн. Работы	
мягкое	A	H	49 m%	1-2 года	Верхн.	Битум	Дополн. работы	
мягкое	A-	S	51 m%	6 лет	Попереч. срез	PIB	Дополн. работы	
стабильно-мягкое	B	H	58 m%	1-2 года	Нижн.	Битум	Дополн. работы	
стабильное	B	H	158 m%	1-2 года	Неизв.	Битум	Дополн. работы	
стабильное	A	S	152 m%	4 года	Попереч. срез	PIB	Дополн. работы	

Рис. 40. Сопоставление 6 разных образцов, ранее подвергшихся воздействию влаги

Хотя в некоторых образцах отмечались существенные структурные изменения, целостность других образцов совершенно не пострадала несмотря на значительное и продолжительное воздействие на них влаги. Образцы не подвергались стандартизированным испытаниям на прочность; по своим качествам они были классифицированы по категориям "мягкий", "стабильно-мягкий" и "стабильный". "Мягкие" материалы легко поддаются сжатию; так, одна часть одного образца была намного менее плотной, чем его остальная поверхность, и сам по себе данный материал был мало устойчив к деформациям. Структура образцов, классифицированных как "стабильные", претерпела незначительные изменения (в сопоставлении с новыми, заводскими образцами); сжать этот устойчивый к деформациям материала можно было только при большом усилии. В графу "стабильно-мягкий" относятся все образцы, сочетающие характеристики предыдущих двух категорий.

Как "мягкие", так и «стабильные» образцы были сняты при высокой степени проникновения влаги (около 150 т%) и после достаточно продолжительного периода монтажа (4-6 лет). Два образца с противоположными состояниями с большой долей вероятности были произведены одним и тем же производителем. Можно сделать вывод о том, что степень проникновения влаги внутрь минераловатного материала не является ключевым фактором потери устойчивости данного материала к нагрузкам.

При сопоставлении разных образцов не было обнаружено никакой причинно-следственной связи между состоянием материала и его производителем, между временем монтажа и местом крепления (многослойность/однослойность), между типом материала и особенностями распределения веса по поверхности (многослойная изоляция на основе битума или однослойная из пластика).

Также не было получено более точной информации по устойчивости материалов к нагрузкам: предполагалось, что все образцы изоляционных плит подвергались механической нагрузке не только от веса кровельщиков при первичном монтаже, но и впоследствии, при дополнительных (восстановительных) работах. Проведенный анализ образцов позволяет сделать вывод о том, что различия в состоянии изоляционных плит, вероятнее всего, связаны с частотой механических нагрузок на кровельную поверхность.

15. Симуляция гигротермических процессов

Как уже было описано выше, при проведении испытаний не учитывались реальные климатические условия, оказывающие воздействие на кровельную поверхность. Ни одно стандартное испытание не позволяет воссоздать условия диффузионного потока, который образуется на кровельной поверхности даже при самом низком содержании влаги. Таким образом, стандартные испытания не позволяют сделать выводы о поведении изоляционного материала при некотором превышении нормы содержания влаги или при скоплении конденсата в поперечном сечении.

При этом на практике оказывается, что в местах протечек изоляционные материалы подвергаются таким условиям в течение продолжительного периода

времени.

Ввиду того, что содержание влаги может сильно варьироваться, сначала необходимо было выяснить, можно ли при помощи гигротермических расчетов определить различия в воздействии влаги на изоляционный материал в зависимости от ее концентрации.

Для этого при помощи специальной программы [WUFI] была проведена симуляция воздействия влаги на типичную кровельную поверхность с теплоизоляционным покрытием в течение 3 лет. Были воссозданы следующие условия концентрации влаги:

1. 0% содержания влаги, начальное содержание влаги отн. влажность 80% при 20°C (= 1,4 г/м²)
2. 1,5 м% содержания влаги (= 210 г/м²)
3. 10% содержания влаги (= 1 400 г/м²)
4. 50 м% содержания влаги (= 7 000 г/м²)

Тестируемая кровельная конструкция обладала следующей структурой (сверху вниз):

- 1,5 мм гидроизоляционная мембрана на основе ПВХ-П, $s_d = 22,5$ м
- 100 мм минераловатный изоляционный материал $\lambda = 0,04$ Вт/мК, 140 кг/м³
- Пароизоляционная прокладка $s_d = 100$ м

В качестве стандартных условий внешнего климата были взяты показатели района Хольцкирхен, Бавария (где располагается головной отдел IBP). Микроклимат помещения был установлен по EN 15026 при нормальной концентрации влажности.

При определении концентрации влаги в минераловатном изоляционном материале проводилось точное измерение показателей гидроизоляционного слоя.

Для сухих изоляционных материалов из минеральной ваты, уже находящихся в эксплуатации, были получены следующие температурные показатели (красным) и показатели содержания влаги (зеленым) (значения, полученные непосредственно под кровельным покрытием):

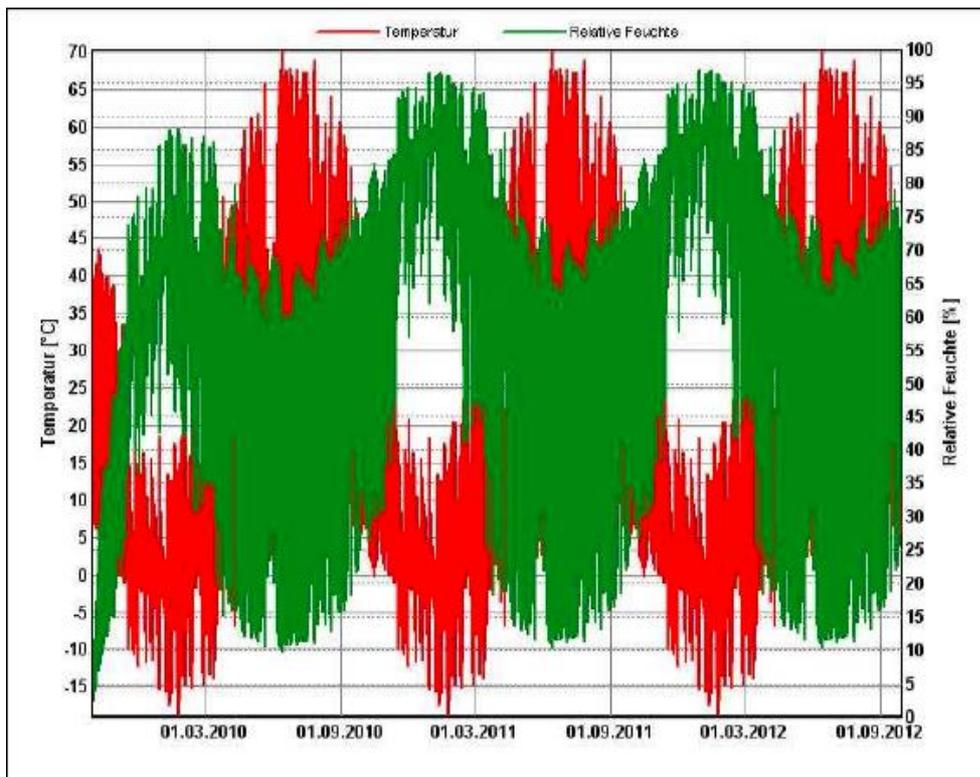


Рис. 41. Температура (красным) и относительная влажность (зеленым) непосредственно под кровельным покрытием; сухой изоляционный материал

Также было высчитано содержание воды в изоляционном материале из минеральной ваты, при этом учитывались начальные показатели 1,5M%, 5 m%, 10 m% и 50 m%:

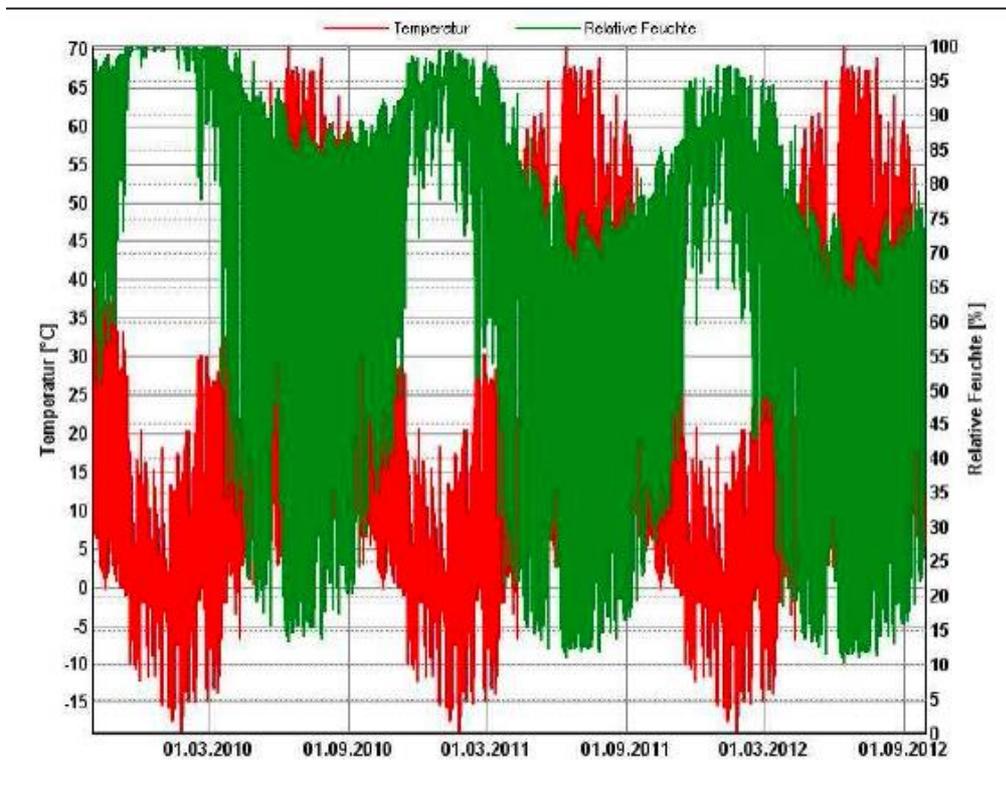


Рис. 42. Температура (красным) и относительная влажность (зеленым) непосредственно под кровельным покрытием (0,0017 м); изоляционный материал с содержанием влаги 1,5 m%

При содержании влаги 1,5 т% (соответствует 210 г/м²) можно говорить об образовании конденсата под кровельным покрытием только в течение первого зимнего сезона. После этого влажность воздуха под покрытием не превышает 100%, т.к. гидроизоляционная мембрана на основе ПВХ-П кровельного предотвращает проникновение большого количества влаги.

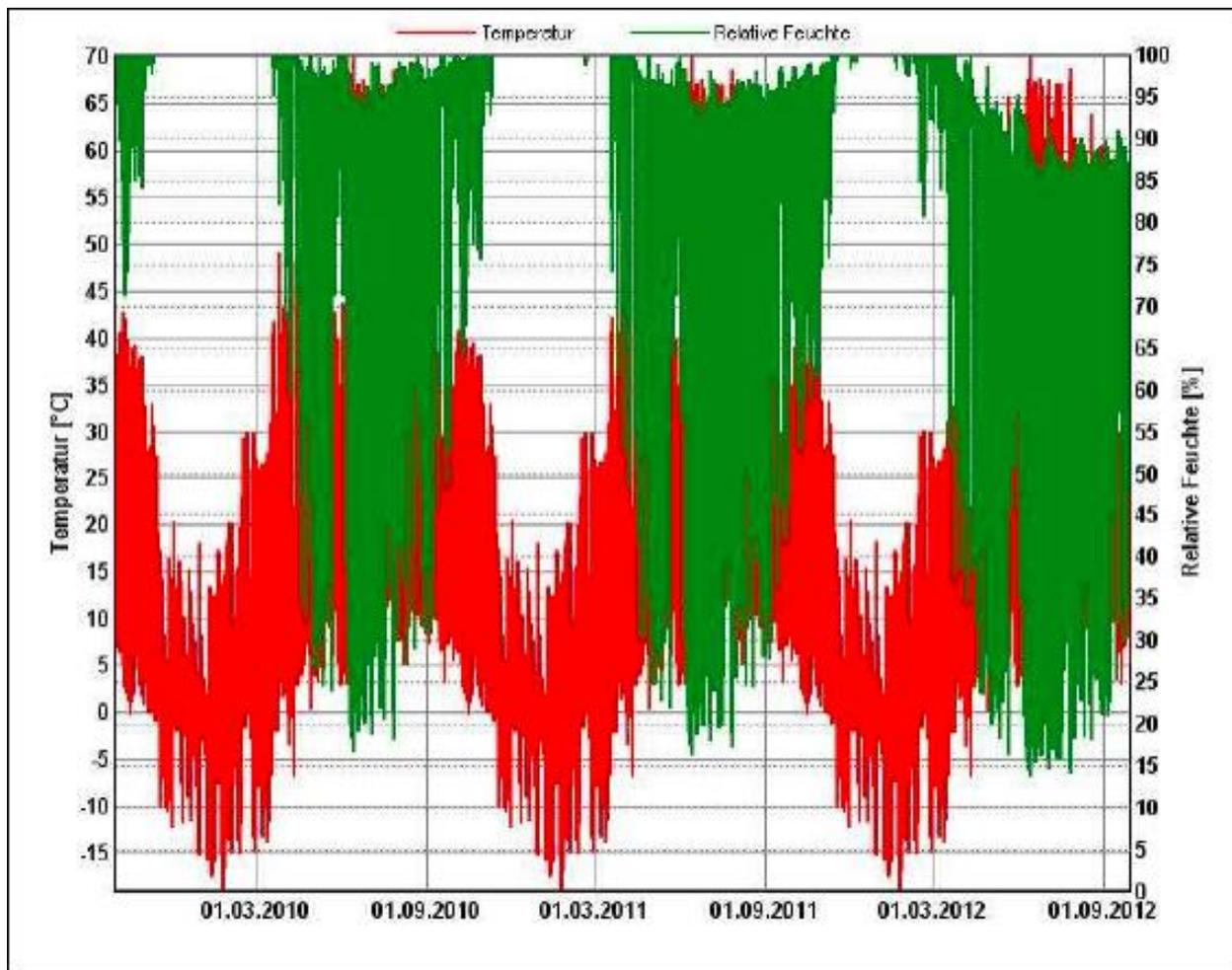


Рис. 43. Температура и относительная влажность непосредственно под кровельным покрытием; изоляционный материал с содержанием влаги 5 т%

При содержании влаги 5 т% можно говорить о долгосрочном образовании конденсата под кровельным покрытием. Эта тенденция проявляется еще отчетливее при более высоком содержании воды (10 или 50 т%). Как видно из следующих графиков, продолжительность образования конденсата под кровельным покрытием значительно возрастает. (Зеленая кривая содержания влаги в течение более длительного периода времени полностью совпадает с кривой 100 т% и с кривой 50 т% после более полугода).

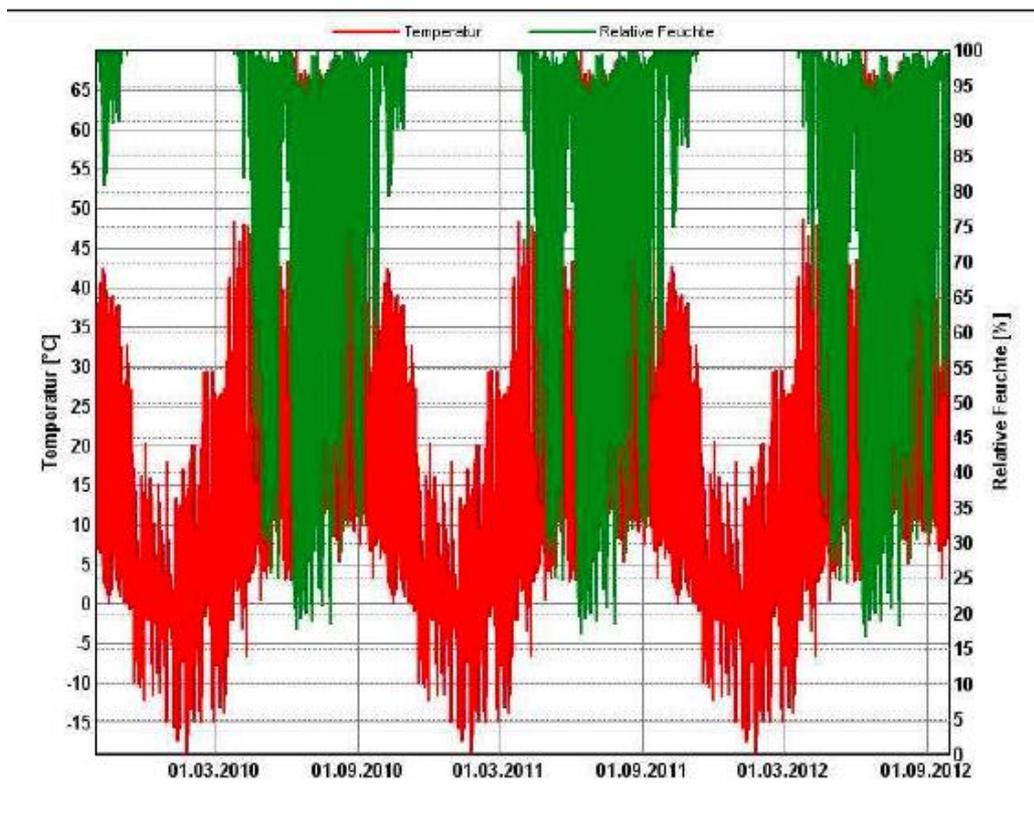


Рис. 44. Температура и относительная влажность непосредственно под кровельным покрытием; изоляционный материал с содержанием влаги 10 т%

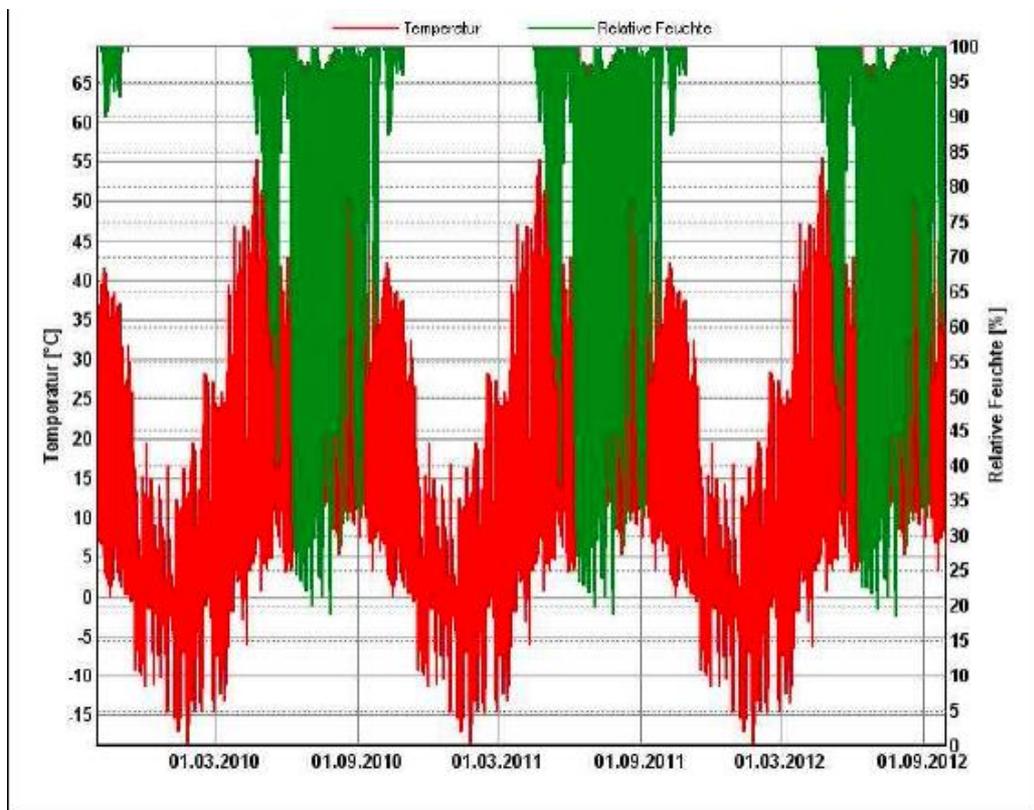


Рис. 45. Температура и относительная влажность непосредственно под кровельным покрытием; изоляционный материал с содержанием влаги 50 т%

При выполнении расчетов необходимо учитывать, что данная методика все еще основывается на традиционных механизмах влагопередачи (в случае с минеральной ватой - исключительно диффузия пара). Еще предстоит выяснить, какое влияние могут оказать на расчеты другие механизмы влагопередачи (например, влагопередача вдоль волокон материала или сила тяжести). Судя по практическому опыту работы с подвергшимися воздействию влаги изоляционными материалами, даже при относительно низком содержании влаги в верхних слоях изоляции возможно образование конденсата и долгосрочное скопление воды.

Все выполненные расчеты основываются на сравнительно низком показателе s_d в изоляционном слое. Содержание воды в слоеном пакете подвергается изменениям, поэтому при расчетах учитываются все диффузионные процессы. При более высоком диффузионном сопротивлении гидроизоляционного слоя показатель содержания влаги не будет так сильно колебаться, и им можно будет пренебречь при расчетах. Результаты выполненных расчетов подтверждают практический опыт работы с протечками кровли: длительность скопления конденсата под кровельным покрытием увеличивается по мере повышения содержания влаги в изоляционном слое. При этом, согласно гигротермическим расчетам (в отличие от традиционных), в сухом изоляционном материале образования конденсата не происходит (выводе на основе гидроизоляции с низким коэффициентом диффузии).

Если бы структура минеральной ваты изменялась исключительно в результате скопления конденсата, то можно было бы сравнительно легко определить предельную концентрацию влаги, превышение которой вызывало бы повреждения материала; при этом легко определялись бы граничные значения, когда конденсат проникает в слоистый пакет под кровельным покрытием.

Даже если бы минеральная вата повреждалась исключительно при сочетании высоких температур и высокого содержания влаги, то данные граничные значения было бы все еще относительно легко определить.

Если бы повреждения связующих веществ наступали уже просто при высокой влажности воздуха, то граничные значения было бы легко достичь и превысить. Без понимания механизмов повреждения материала невозможно определить приемлемые граничные значения.

16. Проверка устойчивости материалов к нагрузкам после проникновения влаги и в условиях температурных перепадов

Как было подробно описано выше, в рамках стандартных испытаний устойчивость материалов к нагрузкам и водопоглощаемость рассматривались исключительно на примере сухих материалов и в нормальных климатических условиях. При этом совершенно не учитывалось возможное воздействие влаги и температурные перепады.

Выполненное одним из производителей испытание при помощи автоклава можно считать значительно более точным методом определения свойств кровельного покрытия в условиях долгосрочной эксплуатации. Тем не менее, данный метод не позволяет спрогнозировать ожидаемый срок жизни материалов после

воздействия на них влаги.

Ввиду этого, в рамках настоящего исследования и в тесном взаимодействии с FIW Мюнхен были разработаны методы проведения лабораторных испытаний, при которых образцы с большим содержанием влаги подвергаются воздействию разных температур (см. отчет о результатах исследования FIW в Приложении). После проведения испытания, в соответствии со стандартным методом, была измерена устойчивость материалов к нагрузкам при сжатии 10%. Необходимо было определить, какое количество температурных циклов и какое содержание влаги ведут к потере устойчивости материала к нагрузкам. В рамках данного исследования впервые была сделана попытка воссоздать взаимосвязь между содержанием влаги и изменением состояния изоляционного материала.

Сначала для проведения испытания был задан типичный температурный режим внешнего климата. Для этого были использованы результаты температурные измерения плоской кровли, зарегистрированные в течение недели в августе и в декабре; эти данные были опубликованы в исследовании Циркельбаха, Кюнцеля, Блудай [Zirkelbach, Künzel, Bludau 2007]. Из этих данных было выбрано 2 типичных суточных хода температуры, которые были внесены в соответствующую программу в качестве расчетного значения. В разделе летних температур числятся температурные показатели в диапазоне от +5°C до + 55°C), в разделе зимних температур - от -11°C) до + 21°C).

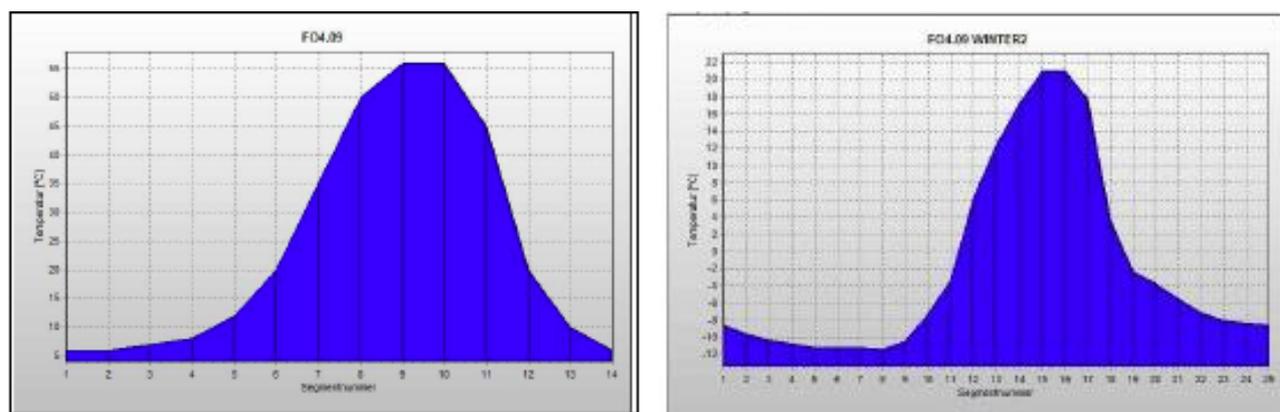


Рис. 46. Суточный ход температуры в условиях воссоздания летнего (слева) и зимнего (справа) температурных циклов

Суточный ход температуры воздуха повторялся каждые 10 дней. На нижней стороне изоляционного материала была задана постоянная температура в пределах 20°C.

Компания Rockwool предоставила минераловатные изоляционные материалы типа Durock толщиной 100 мм для проведения данного испытания. В качестве минимального требования по устойчивости материала к нагрузкам при сжатии 10% производитель устанавливает значение 60 кПа.

Для дальнейшего испытания на прочность крупные образцы были разрезаны на фрагменты 200 мм x 200 мм. После этого образцы завернули в полиэтиленовые пакеты, которые, в зависимости от типа испытаний, были наполнены водой (см. Рис. 47). Содержание воды составило 1,5 т%, 5 т% и 50 т%.

Пропитывание изоляционного материала влагой проходило в несколько этапов:

сначала небольшое количество воды проникало в материал по направлению струи. Большая часть воды накапливалась в пространстве между полиэтиленовым пакетом и изоляционным материалом. Примерно через 15 минут (50 т%) была впитана почти половина от наполненных 300 г воды. Остальная часть воды впиталась в изоляционный материал во время его дальнейших испытаний в условиях температурных перепадов. За весь период испытаний (10-20 дней) вода равномерно распределилась внутри изоляционного материала.



Рис. 47. Образцы, подготовленные для испытаний в условиях температурных перепадов. Наполненные водой образцы были закреплены в пластинчатом устройстве, где они подвергались температурным перепадам в течение 10 дней. Данной процедурой предполагалось воссоздать реальные условия, в которых влага распределяется по изоляционному материалу. В реальных условиях через образовавшуюся протечку вода проникает на барьерный паровой заслон, т.е. на нижнюю поверхность изоляционного материала. Лабораторные испытания помогают воссоздать данную ситуацию на практике: влагопередача от теплой (20°C) к холодной (5°C) стороне приводит к образованию "водного резервуара" в нижней части изоляционного материала, в основном на холодной стороне. При повышении содержания влаги в этой части, как правило, происходит образование конденсата; данный процесс можно вычислить на основе приведенных выше расчетов WUFI. Летом также образуется влагопередача от горячей верхней поверхности (55°C) изоляционного материала к "холодной" (20°C) нижней.

Зимой влагопередача идет только в одном направлении, от теплой нижней поверхности (20°C) к холодной (до -11°C) верхней. В этот период, в соответствии с гигротермическими расчетами, намного чаще случается образование конденсата. Выделяющийся конденсат также периодически замерзает.

Посредством воссоздания различных температурных и влажностных условий преследовалась цель определить, имеют ли те или иные факторы более сильное воздействие на структуру изоляционного материала.

16.1 Испытания практически сухих образцов изоляционного материала

В первую очередь были проанализированы новые, не находившиеся в

эксплуатации, образцы при температуре 20°.

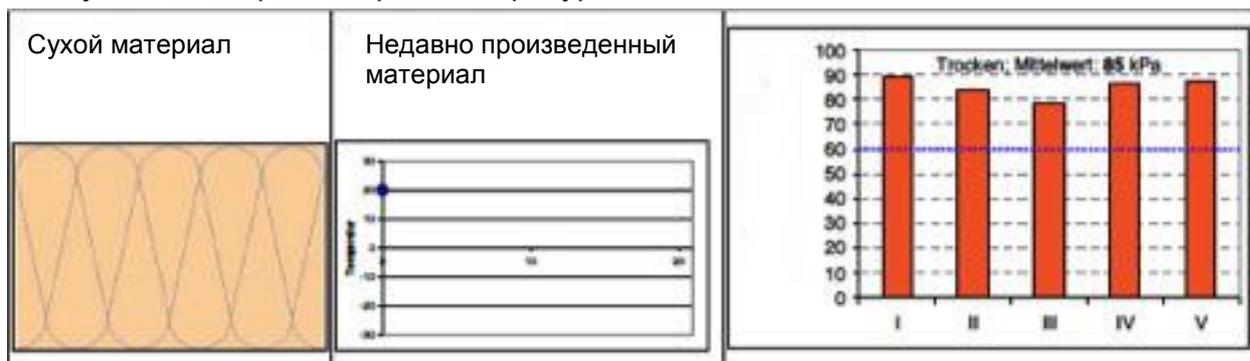


Рис. 48. Испытание на прочность (устойчивость к нагрузкам) при сжатии 10% недавно произведенного материала, 85 кПа (5 образцов)

Было обнаружено, что устойчивость материала при сжатии 10% составляла в среднем 85 кПа, т.е. значительно выше указываемых производителем показателей в пределах 60 кПа.

Также были произведены замеры образцов, хранившихся в нормальных температурных условиях в течение одного года:

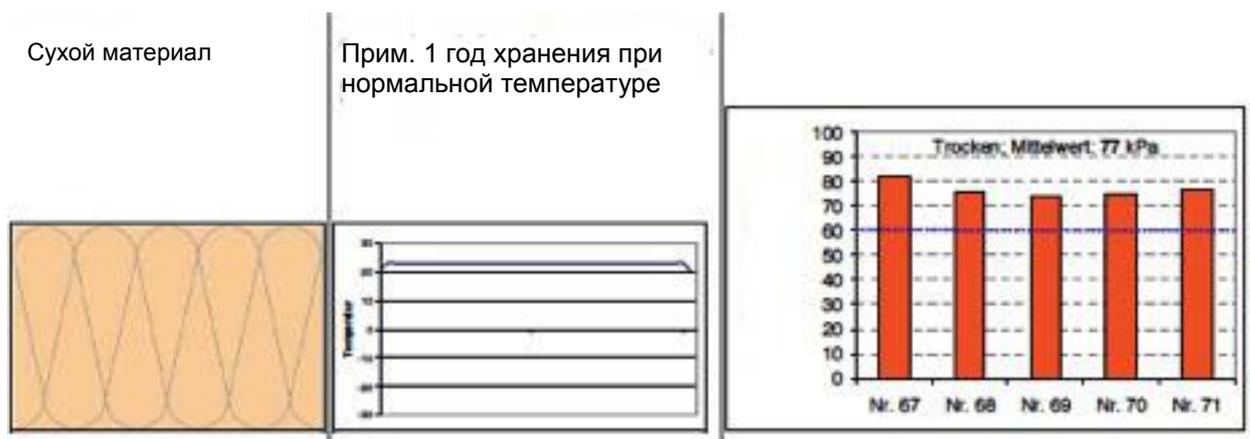


Рис. 49. Испытание на прочность (устойчивость к нагрузкам) при сжатии 10% после хранения при комнатной температуре в течение 1 года, 77 кПа (5 образцов)

Средняя устойчивость материала при сжатии 10% составляла 77 кПа, т.е. на 10 кПа ниже начальных показателей. Отсюда следует сделать вывод о том, что значительная потеря прочности материала (почти на 10%) вызывается исключительно релаксационными эффектами.

Другая серия образцов была проверена на устойчивость к нагрузкам примерно через 10 месяцев после производства; образцы не подвергались воздействию влаги и были испытаны после хранения в условиях температурных перепадов:

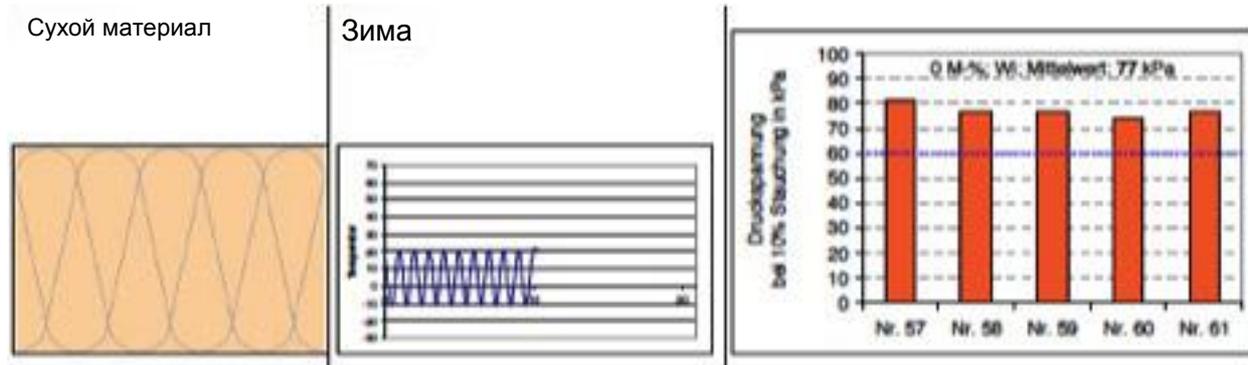


Рис. 50. Испытание на прочность (устойчивость к нагрузкам) при сжатии 10% сухих образцов после 10 дней испытаний в условиях зимнего климата, 77 кПа (5 образцов)

И в этом случае среднее значение составило 77 кПа. Таким образом, температурновлажностный режим не сыграл большого роли для изменения состояния изоляционных материалов.

16.2 Испытание образцов, подвергшихся различной степени воздействия влаги

3 ряда испытаний были проведены с образцами с содержанием влаги 1,5 m%: 10 дней в условиях летней погоды, 10 дней в условиях зимней погоды и общая проверка в течение 20 дней (10 дней летней и 10 дней зимней погоды):

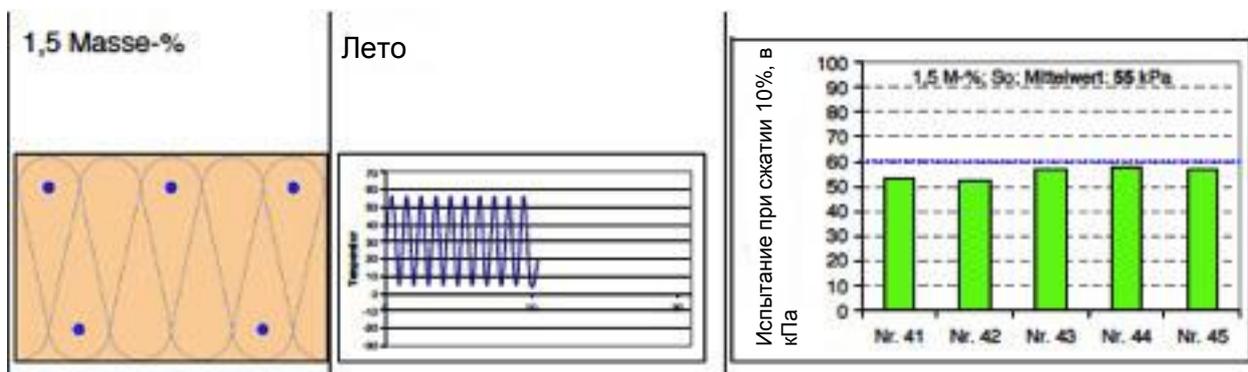


Рис. 51. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 1,5 m% после 10 дней в условиях летнего климата, 55 кПа (5 образцов)

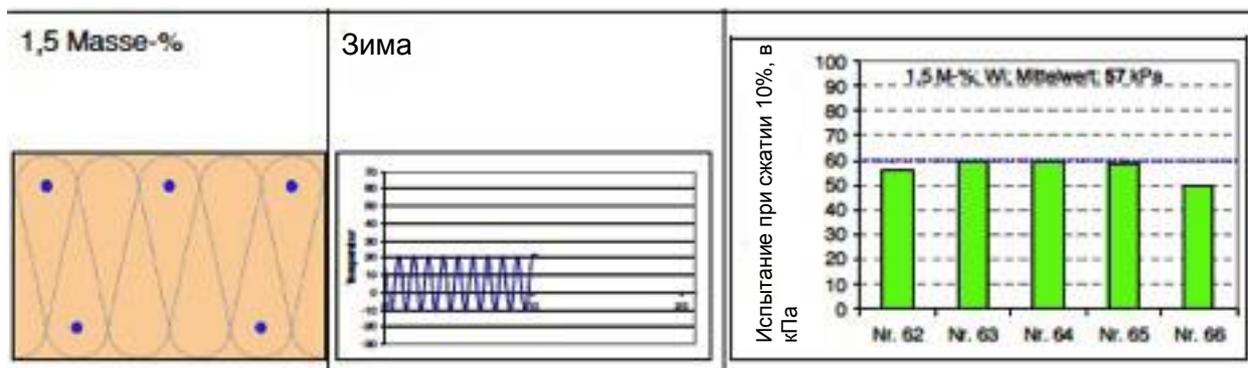


Рис. 52. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 1,5 m% после 10 дней в условиях зимнего климата, 57 кПа (5 образцов)

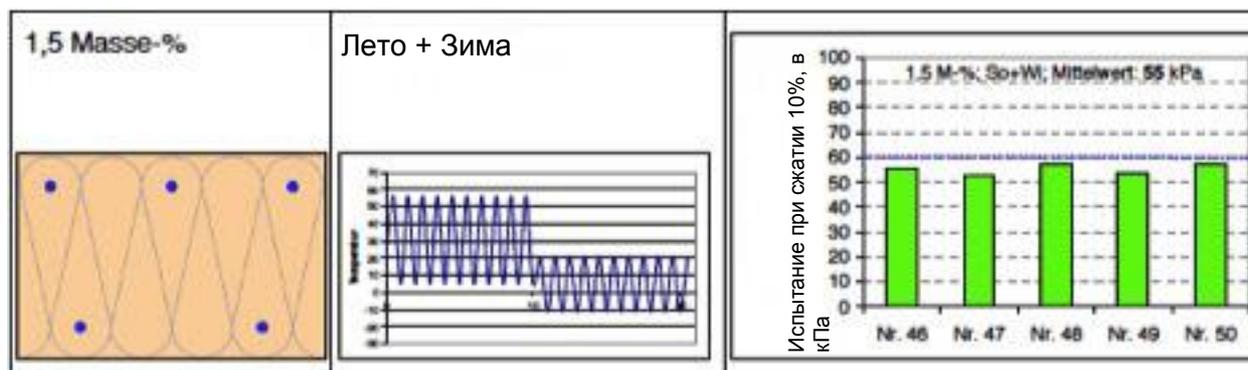


Рис. 53. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 1,5 т% после 10 дней в условиях летнего климата и 10 дней в условиях зимнего климата, 55 кПа (5 образцов)

Было отмечено заметное уменьшение прочности материала по сравнению с его изначальным состоянием на момент производства. Средние значения устойчивости материала к нагрузкам при сжатии 10% составили 55, 57 и 55 кПа, т.е. на 35% ниже начальных показателей. В то же время, они были лишь на 9% ниже указываемого производителем значения в пределах 60 кПа.

Другие образцы (с содержанием влаги 5 т%) подверглись серии испытаний в зимних условиях:

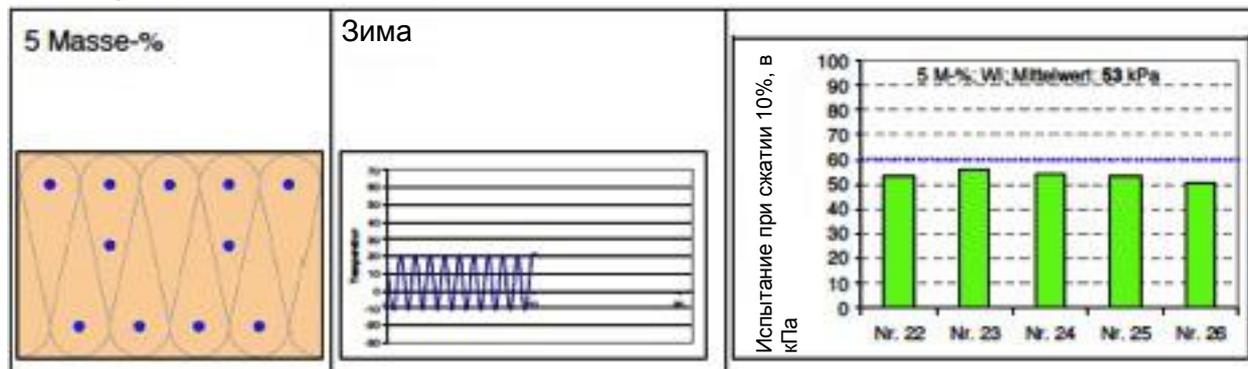


Рис. 54. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 5 т% после 10 дней в условиях зимнего климата, 53 кПа (5 образцов)

Устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% составила 53 кПа, т.е. примерно на 7% ниже, чем аналогичные показатели у образцов 1,5 т%, составившие в среднем 57 кПа.

С образцов, подвергшиеся особо сильному воздействию влаги (50 т%), были сняты те же показатели, что и с образцов 1,5 т% в тех же условиях испытаний (лето, зима и сочетание лето/зима):

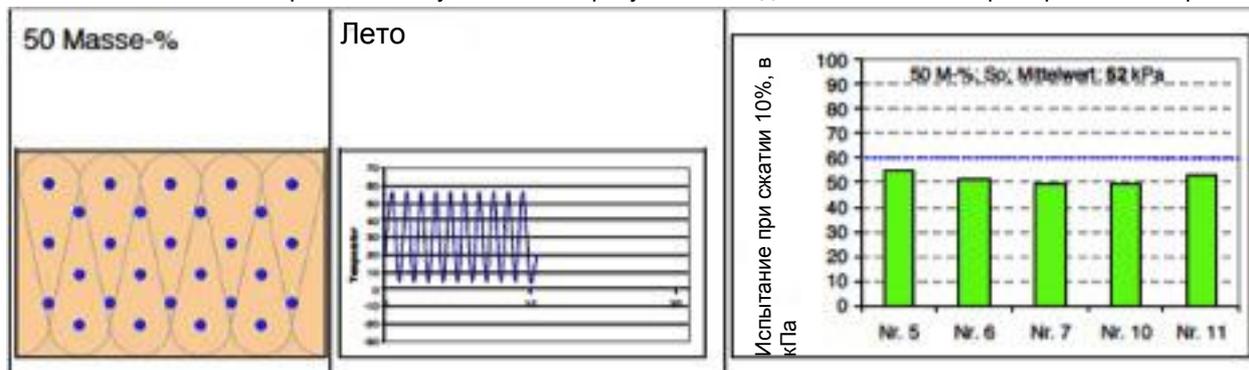


Рис. 55. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней в условиях летнего климата, 52 кПа (5 образцов)

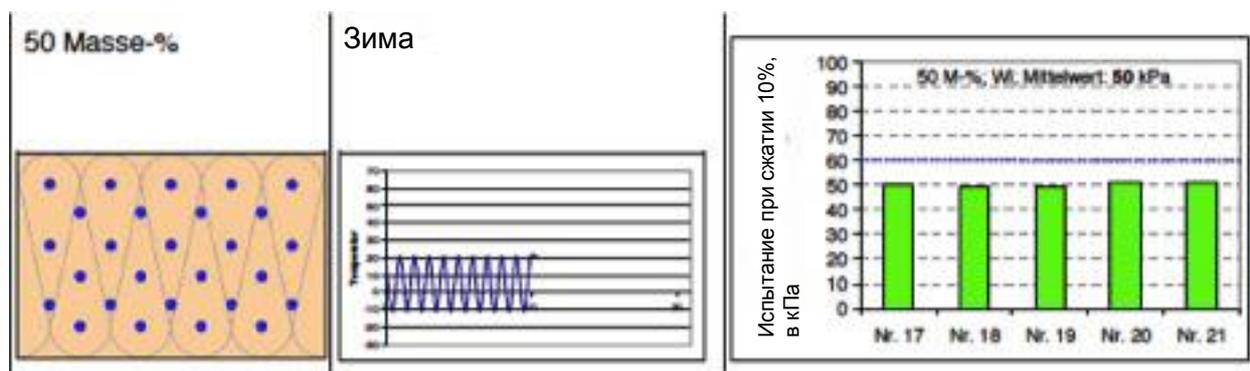


Рис. 56. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней в условиях зимнего климата, 50 кПа (5 образцов)

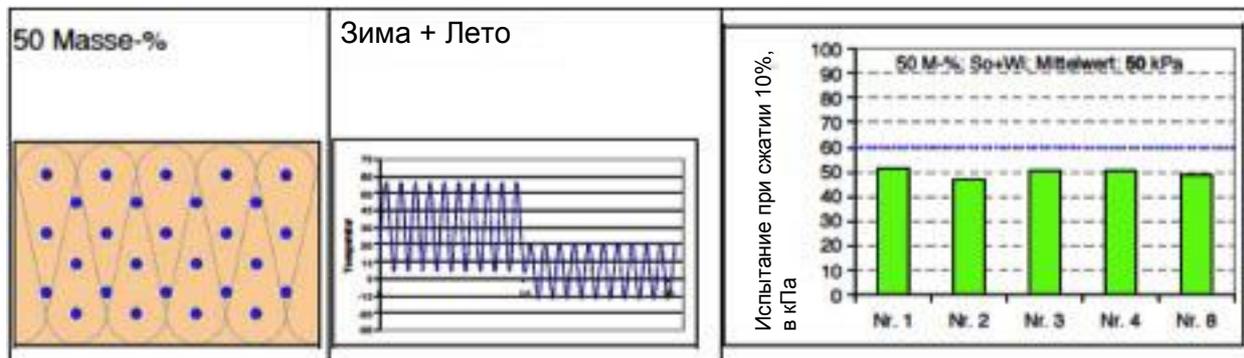


Рис. 57. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней в условиях летнего климата и 10 дней в условиях зимнего климата, 50 кПа (5 образцов)

Был получен достаточно неожиданный результат: устойчивость данных образцов к нагрузкам при сжатии 10% понижается несоразмерно увеличению содержания влаги в них. При значениях 52, 50 и 50 кПа полученные числа лишь незначительно (порядка 9%) ниже аналогичных значений образцов с содержанием влаги 1,5 m%.

На основе этих данных можно сделать вывод о том, что большой разницы между испытаниями в условиях летней и зимней погоды не существует. Ни частота образования конденсата, ни замерзание воды в изоляционном слое также не играют решающей роли.

16.3 Повторное испытание образцов, подвергнувшихся воздействию влаги, после их сушки

В рамках другой серии испытаний образцы, подвергшиеся проверке в условиях летнего и зимнего климата, были высушены, после чего специалисты замерили их устойчивость к нагрузкам:

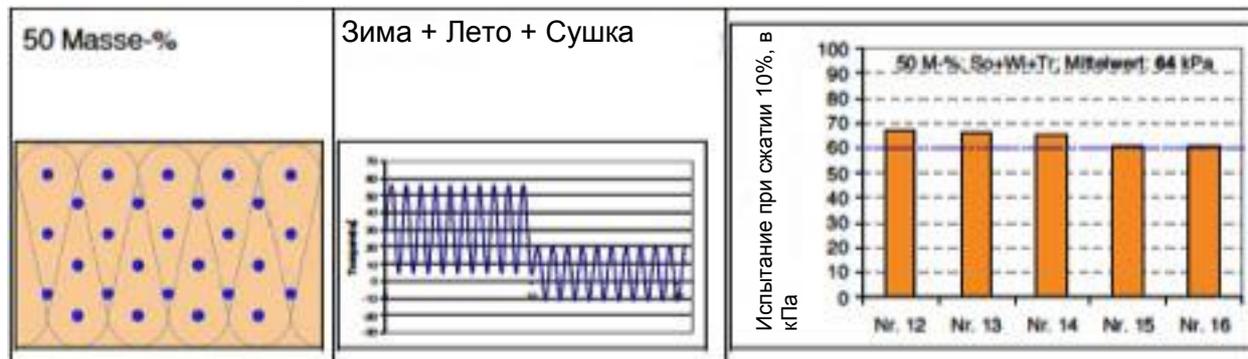


Рис. 58. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 т% после 10 дней в условиях летнего климата и 10 дней в условиях зимнего климата, 64 кПа (5 образцов)

Интересно, что после значительного воздействия влаги и последующей сушки образцы имели более высокие показатели устойчивости к нагрузкам, чем еще влажные образцы (порядка 64 кПа против 50-52 кПа). Полученные показатели все еще были ниже указываемого производителем значения (60 кПа).

Это говорит о том, что часть воздействия влаги на изоляционный материал может быть обратимой. Вполне возможно, что часть волокон материала "плавают" в воде и ввиду этого теряют связь с другими волокнами, что сказывается на прочности изоляционного материала.

Но в то же время, воздействие влаги приводит к необратимому ослаблению волокон, т.к. после воздействия влаги, даже в сухом состоянии изоляционный материал не достигает начального значения 85 кПа или значения после одного года хранения (75 кПа). Связь между волокнами материала после воздействия влаги ослабляется примерно на 25%. Показатели такого материала (по сравнению с сухими образцами) снижаются с 77 кПа до 64 кПа, т.е. примерно на 17%.

16.4 Двухступенчатый анализ образцов изоляционного материала

Испытание образцов минерального волокна на устойчивость к нагрузкам признаются "губительным для материала" и не может проводиться повторно. В рамках настоящего исследования образцы были подвергнуты испытаниям на прочность и устойчивость к нагрузкам, затем были высушены, а затем вновь подвергнуты испытаниям на прочность:

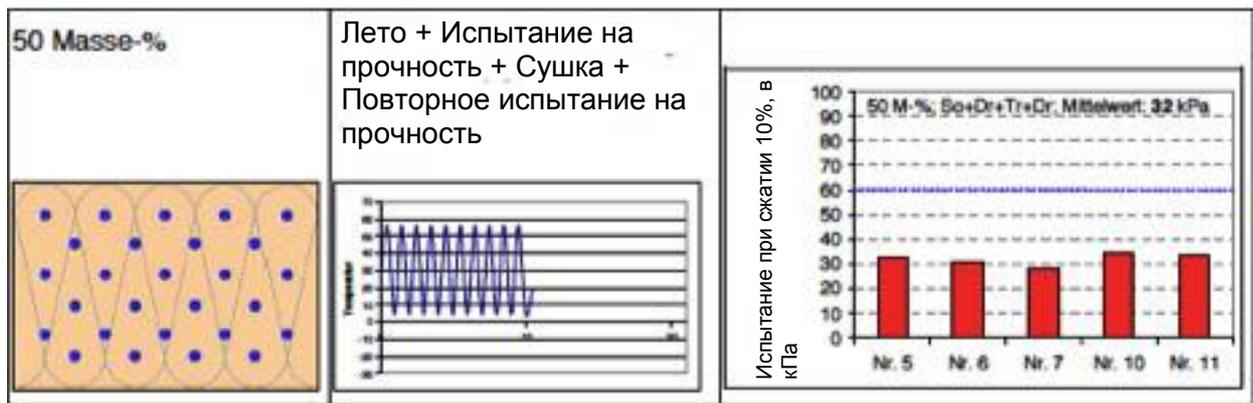


Рис. 59. Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней в условиях летнего климата, испытания на прочность, сушки и повторного испытания на прочность, 32 кПа (5 образцов)

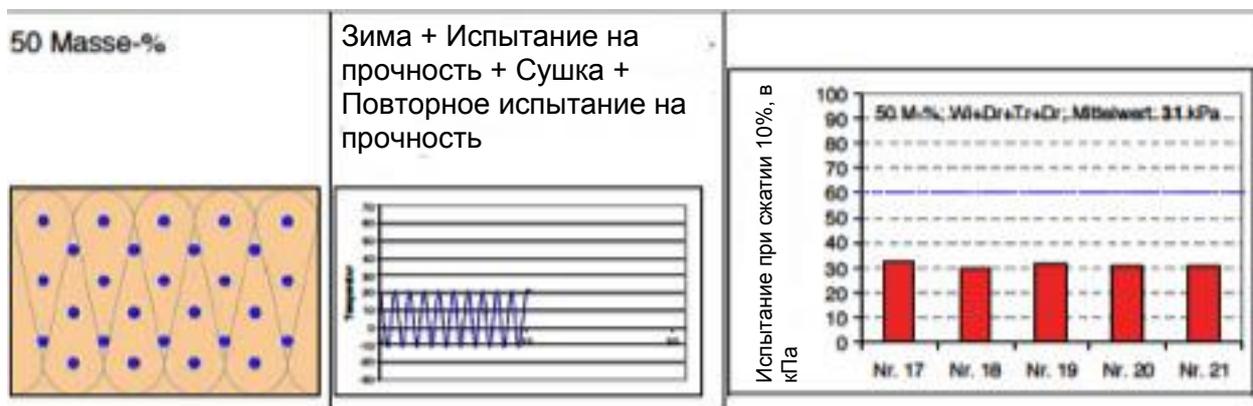


Рис. 60: Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней зимнего климата, испытания на прочность, сушки и повторного на прочность при 31 кПа (5 образцов)

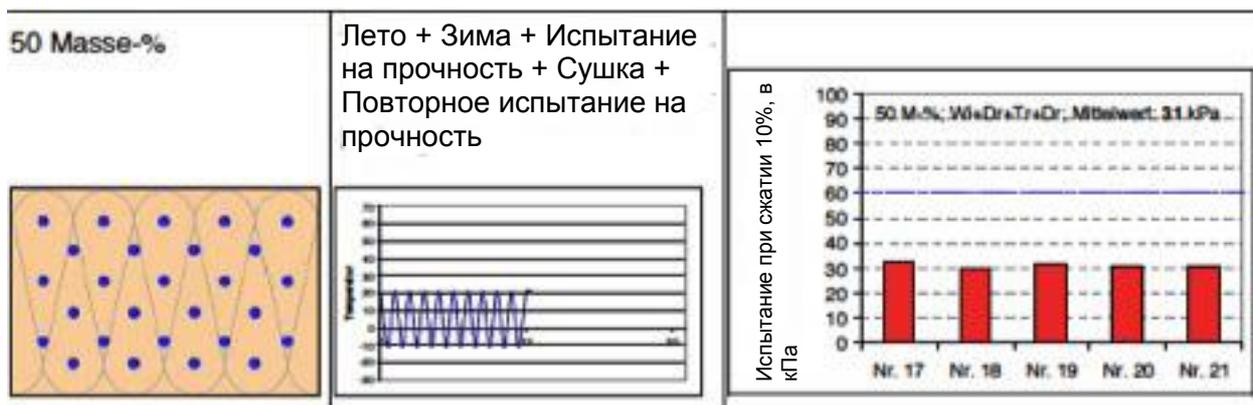


Рис. 61: Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней летнего климата, испытания на прочность, сушки и повторного на прочность при 31 кПа (5 образцов)

Это соотношение наглядно демонстрирует воздействие повторного испытания на прочностные качества изоляционного материала. Средние значения 32, 31 и 31 кПа были на 38% ниже значений, полученных для влажных образцов, уже находившихся под определенным давлением. Начальное значение 85 кПа снизилось примерно на 64%.

Чтобы исследовать, в какой степени такое понижение зависит от содержания влаги, образцы с более низким содержанием влаги после сушки снова подверглись испытанию на прочность:

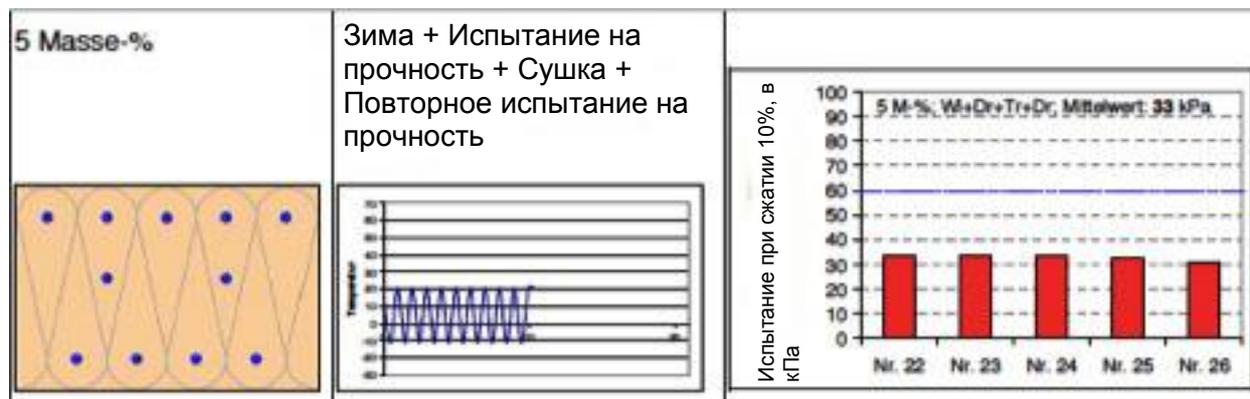


Рис. 62: Проверка на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10% и содержании влаги 50 m% после 10 дней зимнего климата, испытания на прочность, сушки и повторного на прочность при 33 кПа (5 образцов)

Результаты испытания показали, что даже при значительно более низком содержании влаги, после двукратной нагрузки на материал его свойства изменяются в тех же объеме. Отсюда следует, что разрушение структуры изоляционного материала в большей степени зависит от частоты нагрузок и оказания давления на материал, нежели от перепадов влаги.

16.5 Сравнение полученных результатов

Следующие графики сопоставляются друг с другом, чтобы еще нагляднее представить результаты испытаний:

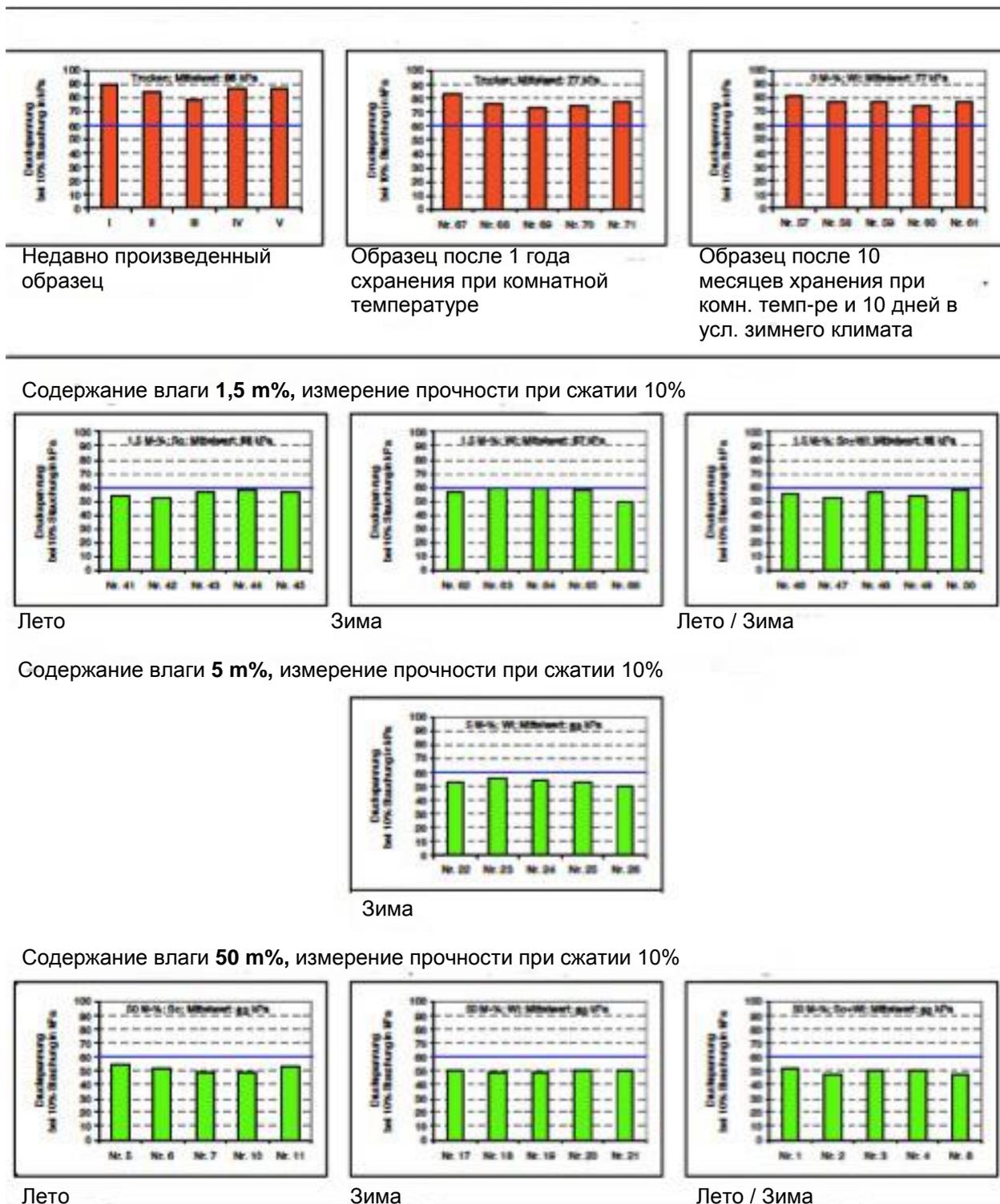


Рис. 63: Состояние образцов: сухие образцы и при содержании влаги 50 m%, измерение прочности при сжатии 10%

Содержание влаги в м%	Хранение в течение 10 дней в условиях летнего климата	Хранение в течение 10 дней в условиях зимнего климата	Отдельные значения					Среднее значение	Среднее значение, округленное	Сушка	Среднее значение после сушки	Среднее значение после двукратного испытания на прочность
			кПа	кПа	кПа	кПа	кПа					
М%			кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа				
0			89,3	83,8	78,5	86,4	87,6	85,1	85			
0 ₃₆₅			82,3	75,9	73,2	75,0	76,8	75,2	77			
0		X	77	76,9	74,3	76,8	81,4	77,3	77			
1,5	X		53,6	52,5	56,6	57,4	56,6	55,3	55			
1,5		X	56,0	59,3	59,8	58,5	56,0	49,6	57			
1,5	X	X	55,4	52,7	57	53,6	57,3	55,2	55			
5		X	53,5	55,7	53,9	52,8	50,8	53,3	53	Т		33
50	X		54,7	51,6	49,1	51,0	53	51,6	52	Т		31
50		X	50,4	49,0	49,5	51,0	50,8	50,1	50	Т		32
50	X	X	51,7	47,3	50,3	50,7	48,4	49,7	50	Т		31
50	X	X	66,7	66,2	65,1	60,6	61,1	63,9		Т	64	

Рис. 66: Отдельные и средние значения испытание на прочность при сжатии 10% после хранения материала в разных условиях

16.6 Обобщение и оценка результатов исследования

Измерения показывают, что потеря прочности изоляционных материалов не находится в полной зависимости от концентрации в них влаги. Значительных отличий между испытаниями материалов в условиях летнего и зимнего климата (или при их сочетании) отмечено не было. Даже испытание образцов в определенных климатических условиях в течение 10 дней или 20 дней, по всей видимости, не оказывает никакого воздействия на прочность материалов.

Даже самое низкое содержание влаги оказывают решающее влияние на устойчивость изоляционного материала к нагрузкам и его прочность. Повышенное содержание влаги вызывает более значительное снижение прочности материала лишь в меньшинстве случаев. Поскольку нельзя надежно обезопасить материал от скопления небольшого количества влаги, то делать выводы о серьезном его повреждении при более высоком содержании влаги тоже невозможно. (Влияние содержания влаги на изоляционные качества материала детальнее рассматриваются в Разделе 8.1.)

По крайней мере в течение относительно короткого периода времени взаимосвязь между потерей прочности и воздействием влаги можно представить следующим образом:

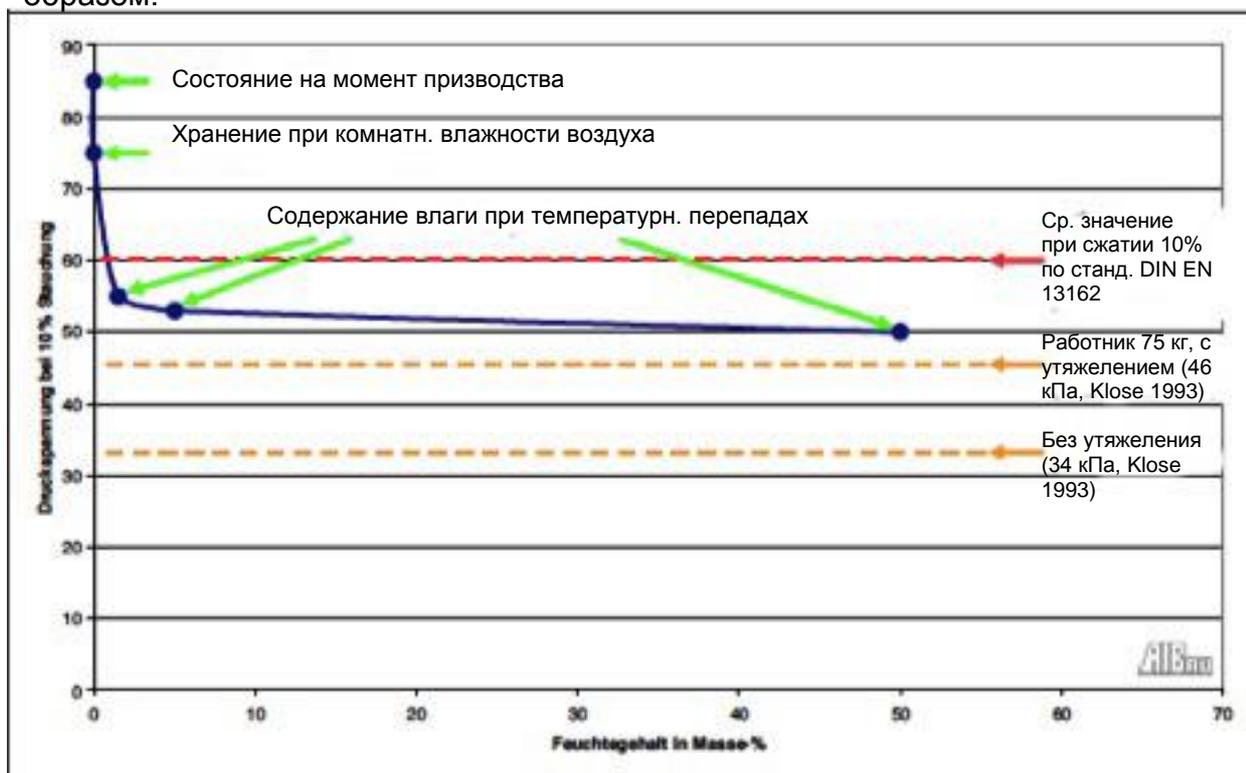


Рис. 67: Взаимосвязь испытания на прочность при сжатии 10% и концентрации влаги в изоляционном материале

Не испаряющаяся из изоляционного материала влага уже при небольшом ее содержании приводит к видимой потере прочности и значительному снижению показателей относительно граничного значения 60 кПа. Тем не менее, полученные показатели все еще превышают предложенные производителем граничные значения. Значения уже находившегося в эксплуатации кровельного покрытия не должны переходить отметку примерно в 35 кПа.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что влага оказывает временное, но в то же время необратимое воздействие на прочностные качества изоляционного материала. Степень проникновения влаги значения не имеет; намного большее воздействие на изоляционный материал оказывают механические нагрузки. Этот вывод применим по крайней мере к испытанным минераловатным изоляционным материалам с высокой плотностью и устойчивостью к нагрузкам.

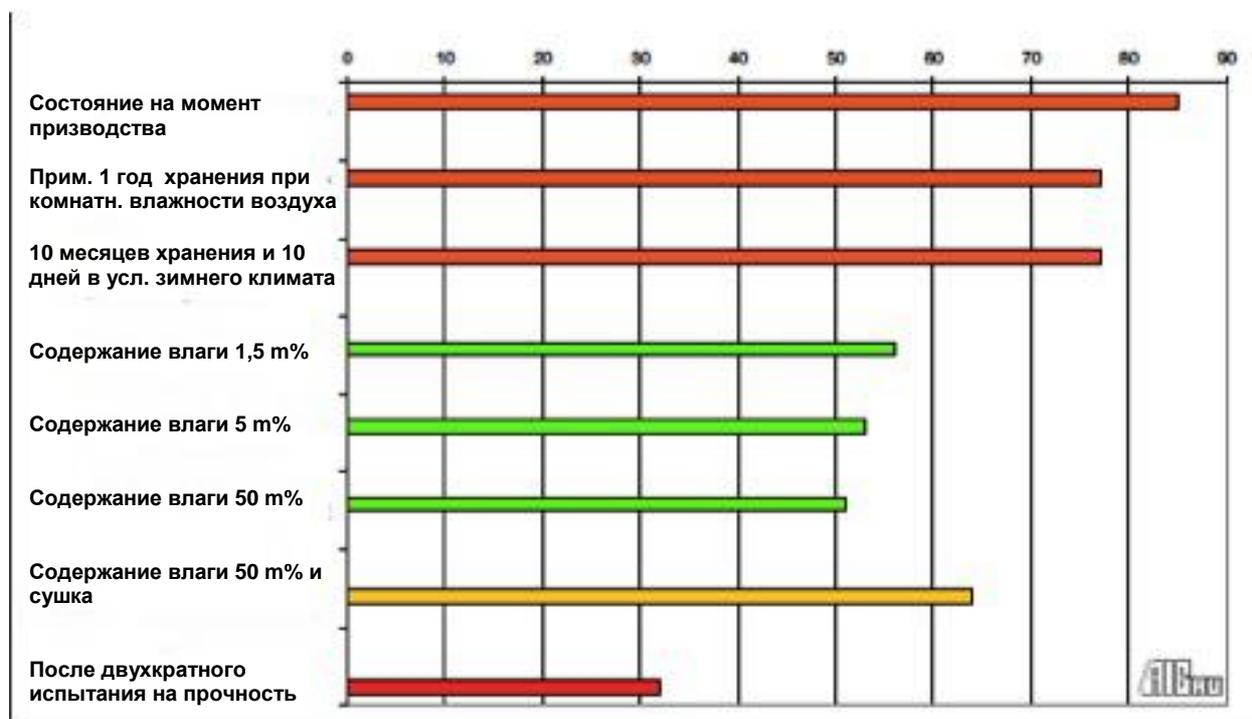


Рис. 68: Взаимосвязь между показателями измерений (средние значения), испытанием на прочность при сжатии 10% в кПа и различными условиями хранения

17. Выводы

На основе выполненных испытаний были сделаны следующие выводы:

1. Влага в изоляционных материалах из минеральной ваты снижает их прочность и устойчивость к нагрузкам. Содержание влаги в материале имеет при этом второстепенное значение.

Минераловатные изоляционные материалы с высоким содержанием влаги также могут иметь высокую устойчивость к нагрузкам. Сама по себе степень воздействия влаги не является ключевым фактором, влияющим на ухудшение состояния и потерю эксплуатационных свойств изоляционного материала.

При испытаниях на прочность при сжатии 10% были отмечены лишь небольшие расхождения между изоляционным материалом с содержанием влаги 1,5% м% (ранее обозначившимся как равновесная влажность) и материалом с намного более высоким содержанием влаги (50 м%). По сравнению с показателями на момент производства (85 кПа), в условиях лабораторных испытаний устойчивость материала к нагрузкам путем сжатия 10% снижается до 55 кПа у материалов с содержанием влаги 1,5 м% и до чуть более 52 кПа у материалов с содержанием влаги 50 м%. Полученные показатели не намного ниже стандартного значения 60 кПа.

Эти результаты соответствуют практическим наблюдениям, в рамках которых было обнаружено, что устойчивость изоляционных материалов к нагрузкам не сильно зависит от высокого содержания влаги в них; наоборот, минераловатный материал, как правило, быстро восстанавливает собственную устойчивость,

практически достигая качеств недавно произведенного материала.

Ввиду того, что определенное скопление влаги на кровле во время ее монтажа избежать почти невозможно, производители минераловатных материалов должны указывать более реалистичные и технически обоснованные значения относительно воздействия влаги на материал.

2. Изменение свойств теплопередачи минераловатных материалов, подвергшихся воздействию влаги, вычислить еще не удалось.

Результаты более ранних научных исследований теплопередачи в таких изоляционных материалах достаточно спорны. На сегодняшний день отсутствуют альтернативные методы расчетов и новые исследования по данному вопросу.

Как показывает практика работы с повреждениями, даже наличие у минеральной ваты водоотталкивающих свойств не защищает материал от впитывания значительного количества влаги. Ввиду малоизученности механизмов влагопередачи в минераловатных материалах следует исходить из того, что ранее проводимые исследования изменений теплопроводности в зависимости от повышения концентрации влаги в материале больше не могут применяться на практике. Принято делать различие между теплопроводностью изоляционного материала и потоками энергии, образующимися в результате влагопередачи. В настоящее время признается, что теплопроводность изоляционного материала изменениям не подвергается. Необходимо детальнее изучить процесс влагопередачи не испаряющейся из изоляционного материала влаги, изменяющей свое агрегатное состояние. На сегодняшний день соответствующие исследования проводятся на мировом уровне. При повреждении изоляционного материала в результате значительной потери его плотности, термосопротивление материала, безусловно, снижается в той же пропорции.

3. Мягкость (размягчение) изоляционного материала является первым следствием чрезмерных и/или многократных нагрузок на материал.

Во многих случаях можно предположить, что снижение устойчивости минераловатного материала к нагрузкам зависит в первую очередь не от содержания влаги, а от повышенных механических нагрузок на материал (например, при работах на кровельной поверхности).

Лабораторные измерения показывают, что повторение даже самых незначительных нагрузок на материал (а не воздействие влаги) приводит к ощутимому снижению его прочности. Измерение устойчивости материала к нагрузкам при сжатии 10% приводит к снижению прочности до примерно 52 кПа (на примере материалов, подвергшихся воздействию влаги 50 m% и температурным перепадам). Это значение значительно ниже стандартного 60 кПа; после проведения повторных испытаний оно составляет уже примерно 32 кПа.

Эти данные подтверждаются и большинством экспертов, для которых основной причиной снижения прочности изоляционных материалов также является повторяющееся механическое воздействие на них.

4. Допустимый уровень нагрузок на уже находящиеся в эксплуатации изоляционные материалы не должны ограничиваться стандартным тестовым значением 10%.

Мягкость изоляционного материала оказывает значительное воздействие на пригодность кровельного покрытия к эксплуатации. Тем не менее, на сегодняшний день отсутствуют объективные граничные значения, которые можно было бы применять ко всем случаям возникновения ущерба. Самым приемлемым граничным значением можно было бы считать сжатие 10%, устанавливаемое самим производителем для недавно произведенных изоляционных материалов. Тем не менее, это значение не может рассматриваться в качестве универсального для уже находящихся в эксплуатации изоляционных систем, т.к. оно не позволяет точно охарактеризовать ухудшение эксплуатационных свойств кровельной конструкции. Эти ухудшения, в первую очередь, зависят от качеств гидроизоляционного слоя, системы крепления и расчетной механической нагрузки на материал. Все эти факторы невозможно описать через одно единственное универсальное значение.

При увеличении толщины изоляционного материала до 20 см в рамках стандартного испытания также необходимо учитывать соотношение между его толщиной и плотностью. При той же номинальной прочности абсолютная степень уменьшения толщины будет значительно больше. Таким образом, беря в расчет только показатель сжатия 10% и не рассматривая толщину изоляционного материала, невозможно сделать объективных выводов о степени его деформации. При анализе "мягких" изоляционных материалов намного большее значение имеет степень его деформации, нежели абстрактные значения лабораторных измерений на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10%.

5. Ограничение эксплуатационных свойств изоляционного материала также зависит от конкретных условий в каждом отдельно взятом случае.

Замена теплоизоляции должна проводиться только в том случае, если повреждения изоляционного слоя в результате его размягчения или долгосрочного воздействия влаги могли причинить значительный ущерб компонентам изоляционной системы или если теплоизоляционные качества и так ощутимо снижены из-за утончения материала.

Среди возможных механизмов повреждения следует упомянуть механические перегрузки гидроизоляционного слоя из-за воздействия на стыки механических крепежных элементов или коррозия крепежных элементов несущей конструкции. Степень повреждения необходимо определять в т.ч. с учетом расчетных механических нагрузок на материал в будущем.

При анализе минераловатных изоляционных материалов на плохо закрепленной кровле, подвергающейся значительным механическим нагрузкам, можно сказать, что их эксплуатационные возможности ограничиваются только при сильном утончении изоляционного материала.

При анализе минераловатных изоляционных материалов на кровле с защитой от ветра можно исходить из того, что прочность материала к разрывам и натяжениям будет значительно снижена в результате проникновения влаги.

6. Необходимо принимать все возможные меры, чтобы избежать механических нагрузок на материал.

При укладке минераловатных изоляционных материалов и особенно в тех случаях, когда еще планируется проведение строительных работ на кровельной

поверхности, необходимо делать все возможное, чтобы снизить механические нагрузки на изоляционный материал. Установленные зоны доступа на крышу (лестницы, двери прилегающих строительных конструкций, зоны поставки строительных материалов) во время проведения строительных работ должны быть защищены дополнительными устройствами распределения веса по всей кровельной поверхности. Доставка и перенос грузов и тяжестей должна производиться по специальным переходным плитам, способствующим распределению веса по всей кровельной поверхности.

Данное требование, в первую очередь, относится к кровельщикам, производящим монтаж изоляционных систем из минеральной ваты.

Требование должно соблюдаться и в дальнейшем, при проведении дополнительных или восстановительных работ на кровле, при которых не всегда можно установить конкретные качества и устойчивость изоляционных материалов к нагрузкам. В первую очередь, это относится к работникам, занимающимся проведением любых дополнительных работ на кровле: монтаж стеклянной кровли и фасадов, озеленение кровли, установка громоотводов.

Те же самые требования предъявляются и к специалистам, устанавливающим вентиляционные системы и солнечные установки.

При этом ответственность лежит не только на управляющей компании, занимающейся выполнением строительных работ, но и на производителях переходных плит, которые обязаны предоставлять точную информацию по допустимой степени нагрузок на плиту и распределении тяжести по кровельной поверхности.

Также имеет смысл использовать более устойчивые к нагрузкам изоляционные материалы с более высокой прочностью при сжатии 10%. Впрочем, и этот тип материала не застрахован от повреждений в результате механических перегрузок. В дальнейшем необходимым представляется проведение исследования на основе находящихся в эксплуатации материалов с более высокой плотностью.

7. Рекомендация:

Перед началом работ специалисты должны измерить глубину оседания кровли!

Перед началом работ специалисты, работающие на поверхности кровли, должны оценить состояние минераловатного материала под однослойной полиэтиленовой пленкой и сопоставить с данными по типичным нагрузкам и деформациям уплотнительных поверхностей.

Самым простым способом является документирование глубины оседания под весом ноги человека с нормальным весом. В ходе совместных проверок руководства строительных объектов, кровельщиков и специалистов по другим установкам (вентиляционная система кондиционирование, озеленение кровли, установка солнечных батарей и т.д.) необходимо устанавливать места самого глубокого оседания и запротokolировать их глубину на основе данных надежного измерительного прибора.

После завершения дополнительных работ при необходимости можно проверить,

увеличились ли места оседания, увеличилась ли степень деформации. Данная процедура дает возможность точнее определить изменения устойчивости материала к нагрузкам и, возможно, определить причину данных изменений и деформаций.

8. Инструкции по оценке кровли, подвергшейся воздействию влаги

При оценке кровли, подвергшейся воздействию влаги, следует различать случаи предоставления гарантии и случаи возможного восстановления.

Случаи предоставления гарантии:

Содержание влаги в пределах 1,5 т% предотвратить почти невозможно. Такое содержание влаги следует оценивать как «характерное свойство материала».

Содержание влаги выше 1,5 т% оказывает небольшое влияние на изменение прочности материала и его устойчивости к нагрузкам. Это утверждение на данный момент можно с уверенностью отнести только к изоляционным материалам, исследованным в рамках настоящей работы. Ухудшение теплоизоляционных свойств материала в данной работе не оценивается. В то же время, ухудшение теплоизоляционных свойств по крайней мере в рассматриваемых случаях напрямую связано с уменьшением толщины материала.

В спорных случаях необходимой представляется замена изоляционного материала. Необходимость замены материала также будет зависеть от того, может ли производитель минераловатного материала подтвердить возможность эксплуатации данного материала при обнаруженной в нем концентрации влаги.

Случаи возможного восстановления:

Более высокое содержание влаги по-разному влияет на эксплуатационные свойства изоляционных материалов. При соблюдении условий, изложенных в Разделах 5 и 6, возможно сохранение изоляционного материала. Это поможет значительно сэкономить финансовые средства и ресурсы.

9. Усовершенствование изоляционных материалов

Производителям минераловатных материалов следует оптимизировать свойства своей продукции, чтобы

- небольшое воздействие влаги не приводило к заметному снижению прочности и устойчивости материала к нагрузкам,
- даже при более высокой концентрации влаги обеспечивалась пригодность материала к долгосрочной эксплуатации
- чтобы продукты разложения связующих веществ не вызывали неприятного запаха при проникновении в материал влаги.

10. Выводы по проведению дополнительных работ на кровельной поверхности

В правилах, касающихся работы с кровлей, утепленной минераловатными материалами, должны даваться четкие указания, что при работе с ней в местах повышенных механических нагрузок следует устанавливать переходные плиты, регулирующие распределение тяжести по всей поверхности кровли.

Эти конструкции должны присутствовать на кровельной поверхности постоянно (в

зонах кровли, куда имеет доступ обслуживающий и технический персонал) или по крайней мере временно, во время проведения дополнительных монтажных работ (вентиляционная система кондиционирование, озеленение кровли, установка солнечных батарей и т.д.). Соответствующие указания по возможности должны быть внесены в следующие нормативные документы:

- DIN 4108-10 и DIN 18531
- Руководство по плоской кровле и инструкция по монтажу солнечных установок на стенах и кровле

Для оценки долгосрочного воздействия влаги необходимо проведение дополнительного исследования образцов, испытанных в рамках настоящего исследования. На сегодняшний день неизвестно ни одного случая, когда подвергшиеся воздействию влаги минераловатные материалы оставались бы на кровле в течение 10 лет. Необходимым представляется найти такие объекты, чтобы получить более точную информацию о долгосрочной эксплуатации данного типа материалов.

Для оценки теплоизоляционных свойств материалов необходимо проведение дальнейших теоретических и практических исследований.

При этом необходимо ставить перед собой цель расширения практического применения изоляционных материалов на основе минеральной ваты. Материалы должны лучше справляться с проникновением влаги и превышением механических нагрузок, чтобы потеря их эксплуатационных свойств до истечения срока жизни товара не влекла за собой финансовые и экологические последствия.

Приложения:

- Библиография
- Опрос для экспертов
- Опрос для компаний, специализирующиеся на высушивании зданий
- Письмо производителям изоляционных материалов
- Отчет FIW

Библиография

[Achtziger, Cammerer 1984]

Achtziger, J.; Cammerer, J.: Влияние содержания влаги на теплопроводность изоляционных материалов. Отчет об исследовании, подготовленный при поддержке Федерального управления (министерства) по строительству и территориальному планированию ФРГ; Gräfelting 1984, ИД IRB-Verlag Nr. F 1988

[Achtziger, Hoffmann 1990]

Achtziger, Joachim; Floffmann, Horst: Дальнейшая эксплуатация кровельных конструкций: прочностные свойства подвергшихся воздействию влаги изоляционных материалов как решающий фактор принятия решения по возможности восстановления плоской кровли. Публикация Научно-исследовательского института теплоизоляционных материалов, Мюнхен, Издание IV: "Теплоизоляция жилых помещений", номер 35; опубликовано в "Руководстве для кровельщиков 16/90"

[Albrecht 2009]

Albrecht, W.: Обозримы ли перспективы рынка изоляционных материалов? Практический опыт и проблемы работы с новыми типами изоляции. Аахенская конференция специалистов строительной индустрии 2009, Vieweg + Teubner Verlag, Висбаден 2010 [Albrecht, Koppold 2010]

Albrecht, Wolfgang; Koppold, Stefan: Долгосрочная эксплуатация изоляционных материалов. Актуальные вопросы строительной физики 2010; Ernst & Sohn, Берлин [Benedix 2008]

Benedix, Roland: Строительная химия: введение в химию для инженеров и строительных архитекторов, Vieweg + Teubner, Висбаден, 2008 [BGBau Mineralfaser 2010]

Работа с изоляционными материалами из минеральной ваты (стекловата, минеральная вата), практическое руководство. под ред. Профессиональной ассоциации строительной индустрии BG Bau, Выпуск 05/2010 [DBU 2009]

"Обработка минеральной ваты", DBU Отчет о текущей деятельности Государственного экологического фонда ФРГ, май 2009 г., документ доступен в формате PDF на www.dbu.de [Fick 2005]

Fick, Karlfriedrich: Двухслойное кровельное покрытие с трапециевидными профилями: водонепроницаемость и образование конденсата в местах протечек. Случаи возникновения ущерба при выполнении строительных работ, Том 8, под ред. Günter Zimmermann, Ralf Schumacher, IRB Verlag, Штутгарт, 2005 [FIW 1983]

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, Мюнхен: Рациональное использование энергии; изоляция двуслойных каменных стен. Уменьшение изоляционных свойств в результате проникновения влаги в изоляционный слой [FIW 1990]

Achtziger, Joachim, дипл. инженер; Hoffmann, Horst, дипл. инженер: Дальнейшая эксплуатация кровельных конструкций: прочностные свойства подвергшихся воздействию влаги изоляционных материалов как решающий фактор принятия решения по возможности восстановления плоской кровли. Публикация Научно-исследовательского института теплоизоляционных материалов, Мюнхен, опубликовано в "Руководстве для кровельщиков 16/90" [FIW 2001]

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, Мюнхен: "Исследование влияния долгосрочных нагрузок на строительные объекты промышленного и жилого назначения, на структуру волокон, распределение частиц, изменения материала и теплоизоляционные свойства изоляционных материалов", научный доклад от августа 2001 г. [GGM 2004]

Ассоциация контроля качества минераловатной продукции: "50 ответов на вопросы о современных изоляционных системах", 6-е изд., сентябрь 2008 г. [IVPU 2006]

Промышленное объединение жесткого пенополиуретана: "Настоящий марафон: недавно разработанный метод испытания воссоздает многократные нагрузки на плоскую кровлю". www.ivpu.de; 2006 [Hohmann 2010]

Hohmann, Rainer: Материально-технические графики в "Актуальные вопросы строительной физики 2010"; Ernst & Sohn, Берлин 2010

[Klose 1993]

Klose, Gerd Rüdiger: Разрушительное воздействие внешних факторов на теплоизоляционные плиты из минеральной ваты. "Руководство для кровельщиков 11/93"

[Klose 1994]

Klose, Gerd Rüdiger: "Вместе они - сила". "Руководство для кровельщиков 2/94"

[Klose 1995]

Klose, Gerd Rüdiger: "Сопротивление любым нагрузкам". "Руководство для кровельщиков 20/95" [Knaut, Berg 2005]

Knaut, Jürgen; Berg, Alexander: Руководство по сушке: причины, диагностика и восстановление поврежденных влагой строительных объектов, Fraunhofer IRB Verlag, Штутгарт, 2005 [Künzel 1986]

Künzel, Helmut: Влияет ли объем и диапазон содержания влаги на теплопроводность изоляционных строительных материалов? Строительная физика, Изд. 2, май 1986 г. [Künzel 1988]

Künzel, Helmut: Поведение изоляционных материалов из минерального волокна под воздействием влаги; Журнал WKSB по тепло-, гидро-, звуко-, шумоизоляции и огнезащитным материалам, Изд. 25 1988 [Künzel 1993]

Künzel, Helmut: Концентрация влаги в изоляционных плитах из минерального волокна: реальные условия, механизмы влагопередачи, методы исследований; Журнал WKSB по тепло-, гидро-, звуко-, шумоизоляции и огнезащитным

материалам, Изд. 32, 1993 [Künzel 1999]

Künzel, H.M.: Влияние верхнего защитного слоя на температурные условия в плоской кровле, IBP Отчет 354, Институт строительной физики Fraunhofer 26 (1999)

[Künzel 2011]

Künzel, Hartwig: Влияние концентрации влаги на теплоизоляционные свойства; Доклад на Симпозиуме IBP "Изоляционные материалы: новые данные и методы исследований," Штутгарт, 11 октября 2011 г. [Rockwool 2011]

Rockwool GmbH & Co. GmbH, г. Гладбек: Восстановительные работы плоской кровли, Изд. 01/2011 [Schreiner 2001]

Schreiner, Roland: Экстремальные нагрузки и их воздействие на теплоизоляционные свойства изоляционных материалов. Публикация Научно-исследовательского института теплоизоляционных материалов, г. Мюнхен; опубликовано в "Технологии изоляции", Lambda-Verlag, Gars, Изд. 6/2001 [Schild, Völkner 2010]

Willems, Wolfgang m., Schild, Kai; Völkner, Stefan: Изоляционные материалы в строительстве. "Актуальные вопросы строительной физики 2010"; ИД Ernst & Sohn, Берлин [Zimmermann 2006]

Zimmermann, Günter; Ottomann, Alfred; Klopfer, Heinz; Soergel, Carl: Повреждения от скопления воды. Случаи возникновения ущерба: локализация утечек, процедура сушки, определение материальной ответственности. Серия изданий "Безаварийное строительство", Изд. 38, Fraunhofer IRB Verlag, Штутгарт, 2006 [Zirkelbach, Künzel, Bludau 2007]

Zirkelbach, Daniel; Künzel, Hartwig m.; Bludau, Christian: Оценка прочности и долговечности эксплуатации изоляционных материалов из стекловолокна на плоской кровле. Отчет IBP, НТВ-12/2007

Библиография по изоляционным системам из минеральной ваты

[Cziesielski / Vogdt 2007]

Cziesielski, Erich; Vogdt, Frank: Повреждения теплоизоляционных систем. Серия изданий "Безаварийное строительство", под ред. Günter Zimmermann und Ralf Ruhнау, Изд. 2-е, исправленное и дополненное 2007, Fraunhofer IRB Verlag, Штутгарт.

[Fitz, Künzel 2009]

Fitz, Cornelia; Künzel, Helmut: Процесс старения минераловатных плит в теплоизоляционных системах. Строительная физика 31 (2009), Изд. 3, [Holm, Künzel 1998]

Holm, Andreas; Künzel, Hartwig M: Испытания влажностью и температурными перепадами минераловатных плит в теплоизоляционных системах. Журнал WKSB по тепло-, гидро-, звуко-, шумоизоляции и огнезащитным материалам, Изд. 41, 1998 [Klose 1998]

Klose, Gerd Rüdiger: Теплоизоляционные системы: метод искусственного старения минераловатных изоляционных плит. Издание "Инженерия высотных сооружений", отчеты по исследованиям и их практическому применению. Юбилейный сборник к 60-летию проф. д-ра Erich Cziesielski, под ред: Ralf Ruhnau. Werner-Verlag, Дюссельдорф, 1998 [Riedel/Oberhaus/Frössel/Haegele 2010]

Riedel, Werner; Oberhaus, Heribert; Frössel, Frank; Haegele, Wolfgang: Теплоизоляционные системы: от термопокрытия к прозрачной теплоизоляции, baulino-Verlag, Waldshut-Tiengen; Изд. 2-е, исправленное, 2010

Руководства по работе с опасными для здоровья материалами и веществами

[TRGS 521:2008-02]

Технические правила по работе с опасными веществами TRGS 521: Переработка, восстановительные работы и обслуживание старых минераловатных материалов. Февраль 2008 [TRGS 905: 2008-05]

Классификация канцерогенных, мутагенных и токсичных веществ, по состоянию на май 2008

[Директива-ЕС 1272/2008]

Постановление (EG) №. 1272/2008 Парламента ЕС и Европейского совета от 16 декабря 2008 г. по классификации, маркированию и нормам упаковки веществ и смесей, изменяющее и отменяющее Директиву ЕС 67/548/EWG и изменяющее Постановление (EG) 1907/2006 [GefStoffV 2010-11]

Нормативное положение об опасных веществах, по состоянию на 26 ноября 2010 года, поправка внесена в Статью 2 закона GefStoffV от 28.07.2011 (BGBl. I S 1622)

Интернет-ресурсы

[www.mansea-ensan.com]

Источник данных по восстановлению зданий старой постройки; совместный проект Института строительной физики Fraunhofer, Хольцкирхен; Института строительной климатологии, Дрезденский технический университет; Центр экологичного строительства, Кассель. Проект осуществляется при поддержке Федерального министерства экономики и технологий ФРГ и Исследовательский центр Юлих; Научно-исследовательский проект vonEnOB и Проекта энергетической оптимизации строительства,

[www.fmi-mineralwolle.de]

Ассоциация минераловатной промышленности

[www.ral-mineralwolle.de]

Компании- члены ассоциации GGM с правом использования знака качества RAL (в т.ч. на волокнистую продукцию) (по состоянию на январь 2010 года)

[www.mineralwolle.com]

Интернет-порталы: "Изоляционный материал" (www.der-daemmstoff.de) и

Ассоциация качества продукции из минеральной ваты GKM (www.ral-mineralwolle.de). Информация о знаке качества RAL [www.wecobis.de]

Информационный портал по экологичным строительным материалам Федерального министерства транспорта, строительства и городского развития ФРГ и Баварской палаты архитекторов: информация о минераловатных изоляционных материалах в разделе "Виды строительных материалов" [www.patent-de.com]

Немецкий патент на изделия из искусственных минеральных волокон [www.umweltbundesamt.de]

PROBAS - Подробная информация: Минеральная вата (февраль 2010 г.)

[www.ivpu.de]

Промышленное объединение жесткого пенополиуретана: "Настоящий марафон: недавно разработанный метод испытания воссоздает многократные нагрузки на плоскую кровлю" 2006

Стандарты

[DIN EN 826: 1996-05]

Теплоизоляционные строительные материалы: их поведение при проверке на устойчивость к нагрузкам, по состоянию на май 1996

[DIN EN 1604:2007-06]

Теплоизоляционные строительные материалы: определение их устойчивости к нагрузкам при определенной температуре и влажности, по состоянию на июнь 2007 г. [DIN EN 1607:1997-01]

Теплоизоляционные строительные материалы: определение их прочности к разрывам и растяжениям (перпендикулярно поверхности), по состоянию на январь 1997 [DIN EN 1608: 1997-01]

Теплоизоляционные строительные материалы: определение их прочности к разрывам и растяжениям (параллельно поверхности), по состоянию на январь 1997

[DIN EN 1609:2007-06]

Теплоизоляционные строительные материалы: определение краткосрочного водопоглощения при краткосрочном частичном погружении в воду, по состоянию на июнь 2007 г. [DIN EN 13162: 2001-10]

Заводские изделия из минеральной ваты (MW), спецификация, Изд. октябрь 2001 [DIN EN 13162:2009-02]

Заводские изделия из минеральной ваты (MW), спецификация, Изд. февраль 2009 [DIN EN 12087:2007-06]

Теплоизоляционные строительные материалы: определение водопоглощения при долгосрочном погружении в воду, по состоянию на июнь 2007 г. [DIN EN 12667: 2001-05]

Тепловые характеристики строительных материалов и изделий: определение термосопротивления с помощью пластинчатого устройства и пластин с тепловым потоком; продукция с высоким и средним термосопротивлением; Изд. май 2001

[DIN 4108-10: 2008-06]

Теплоизоляция и экономии энергии в зданиях - Часть 10: Требования к эксплуатации теплоизоляционных материалов, заводская теплоизоляционная продукция [DIN 18165-1:1991-07]

Минеральные волокнистые изоляционные материалы, Часть 1: Теплоизоляционные материалы, июль 1991 [DIN 18531:2010-05]

Гидроизоляция кровли - гидроизоляция кровли, не находившейся в эксплуатации, Изд. май 2010

Другие стандарты и нормативные документы

[Руководство по работе с плоской кровлей]

Руководство для специалистов, работающих с гидроизоляцией; Руководство по гидроизоляции находящихся в эксплуатации кровельных поверхностей. Подготовлено Центральной ассоциацией немецких кровельщиков и Ассоциацией немецкой строительной промышленности, Изд. октябрь 2008, пред. издания 1973, 1982, 1991, 2001 и 2003 [ZVDFI руководство по солнечным установкам 2011]

Руководство по солнечным установкам для крыш и стен. Подготовлено Центральной ассоциацией немецких кровельщиков и Ассоциацией кровельных, стеновых и изоляционных технологий, изд. апрель 2011

Программное обеспечение

[WUFI]

WUFI pro, Версия 4.2. IBP. Расчет гигротермических процессов внутри строительных материалов при реальных климатических и температурных условиях. Институт строительной физики Fraunhofer, Штутгарт и Хольцкирхен



Изменения состояния минеральной ваты на плоской кровле в результате попадания влаги - Анкета 1

Письменный ответ

AIBAU

Аахенский институт строительных
браков и прикладной строительной
физики

Theresienstraße 19

52072 ААХЕН

Факс: 0241 / 91 05 07 20

Отправитель:

Уважаемые дамы и господа,

В настоящем письме я отправляю Вам заполненную анкету по Вашему научно-исследовательскому проекту.

I. Я являюсь сертифицированным техническим экспертом по повреждениям зданий и строительных сооружений

специалистом-кровельщиком

другое:

II. В своей практике я занимался приведенными в данном опросе случаями возникновения ущерба

Да Нет

III. Я готов предоставить Вам дополнительную информацию или ответить на Ваши вопросы по заполненному опросу

Да Нет

С уважением,

(Пожалуйста, укажите Ваши контактные данные для дальнейшего сотрудничества, они не включены в поле отправителя)

Приложения:

- заполненный Опрос 2

- другие приложения:

Приложение 2: Опрос для экспертов, Часть 2

Изменения состояния минеральной ваты в результате воздействия влаги - Опрос 2

1. Со сколькими случаями возникновения ущерба в результате воздействия влаги на минеральное волокно Вы столкнулись за последние 10 лет (приблизительно)?

Кол-во случаев

2. Какие рекомендации чаще всего выносятся в подобных ситуациях?

- a) Продолжить эксплуатацию изоляционного материала ввиду незначительности повреждений
- b) Продолжить эксплуатацию изоляционного материала после сушки
- c) Заменить изоляционный материал в некоторых участках
- d) Полностью заменить изоляционный материал

Всего: 100%

3. Как определялось содержание влаги в изоляционном материале?

- a) Тактильно (методом ощупывания)
- b) Гравиметрическое измерение плотности
(взвесить и определить объем, сравнить плотность материала с плотностью заводской продукции)
- c) Гравиметрическое измерение, сушка материала
(взвешивание, сушка, взвешивание до определения постоянного веса)
- d) Измерительные приборы: (пожалуйста, укажите)

4. Какая степень проникновения влаги признается решающей/граничной при оценке серьезности повреждения

- a) Равновесная влажность по стандарту DIN 4108-4:1998-03
- b) Другой источник: (пожалуйста, укажите)

5. Приходилось ли Вам оценивать случаи ущерба, когда восстановительные работы кровли с влажным минераловатным изоляционным слоем не приносили успеха?

- a) Да Нет
- b) Если да, не могли Вы предоставить дополнительную информацию по данному случаю на отдельном листе?
 Да Нет
- c) И/или не могли бы Вы рассказать нам о данном случае в рамках телефонного разговора?
 Да Нет

6. Знакомы ли Вам случаи, когда влажный изоляционный материал из минеральной ваты подвергался процедуре технической сушки?

- a) Да Нет
- b) Если да, прошел ли успешно сушки успешно?
 Да Нет Не проверялось

Развернутые ответы с фотографиями или схемами не требуются

Приложение 3: Опрос компаний, специализирующихся на высушивании зданий,
Анкета 1

**Изменения состояния минеральной ваты на плоской кровле в результате
попадания влаги - Анкета 1**

Письменный ответ

AIBAU

Аахенский институт строительных
браков и прикладной строительной
физики

Theresienstraße 19

52072 ААХЕН

Факс: 0241 / 91 05 07 20

Отправитель:

Уважаемые дамы и господа,

В настоящем письме я отправляю Вам заполненную анкету по Вашему научно-исследовательскому проекту.

I. Я являюсь сертифицированным техническим экспертом по повреждениям зданий и
строительных сооружений

специалистом-кровельщиком

другое:

II. В своей практике я занимался приведенными в данном опросе случаями
возникновения ущерба

Да Нет

III. Я готов предоставить Вам дополнительную информацию или ответить на Ваши
вопросы по заполненному опросу

Да Нет

С уважением,

(Пожалуйста, укажите Ваши контактные данные для дальнейшего сотрудничества, они не включены в поле
отправителя)

Приложения:

- заполненный Опрос 2

- другие приложения:

Приложение 4: Опрос компаний, специализирующихся на высушивании зданий

Изменения состояния минеральной ваты в результате воздействия влаги

1. Со сколькими случаями возникновения ущерба в результате воздействия влаги на минеральное волокно Вы столкнулись за последние 10 лет (приблизительно)?

Кол-во случаев изоляция плоской кровли

Кол-во случаев изоляции пола под стяжку

2. Какой опыт работы с с изоляцией пола под стяжку Вы имеете?

a) В скольких случаях (% , приблизительно) процесс сушки привел к полному восстановлению эксплуатационных свойств материала?

b) Были ли случаи, когда процесс сушки не приводил к желаемым результатам, и если да, то в скольких случаях (% , приблизительно)

Если такие случаи были, в чем была причина неудачи?

3. Какой опыт работы с изоляцией плоской кровли Вы имеете:

a) В скольких случаях (% , приблизительно) процесс сушки привел к полному восстановлению эксплуатационных свойств материала? н

b) Были ли случаи, когда процесс сушки не приводил к желаемым результатам, и если да, то в скольких случаях (% , приблизительно)

Если такие случаи были, в чем была причина неудачи?

4. Как определялось содержание влаги в изоляционном материале?

a) Тактильно (методом ощупывания)

b) Гравиметрическое измерение плотности

(взвесить и определить объем, сравнить плотность материала с плотностью заводской продукции)

c) Гравиметрическое измерение, сушка материала

(взвешивание, сушка, взвешивание до определения постоянного веса)

d) Измерительные приборы: (пожалуйста, укажите)

5. Какая степень проникновения влаги признается решающей/граничной при оценке серьезности повреждения?

a) Равновесная влажность по стандарту DIN 4108-4:1998-03

b) Другой источник: (пожалуйста, укажите)

Приложение 5: Опрос производителей изоляционной продукции из минеральной ваты

Письмо производителю изоляционной продукции от 18.04.2011

2

Наши вопросы звучат следующим образом:

1. Какие рекомендации Вы как производитель можете дать
 - a) По воздействию влаги на теплоизоляционный материал в процессе его установки и монтажа:

Какое максимальное (равновесное) содержание влаги может присутствовать в изоляционном материале?
 - b) В случае повреждения в результате протечки:

При каком содержании влаги или какой степени механических повреждений следует производить замену изоляционного материала?
 - c) На чем основываются рекомендации к пунктам a) и b)?
 - d) При какой степени механических нагрузок и при какой степени повреждений следует производить замену изоляционного материала?
 - e) На чем основываются рекомендации к пункту d)?
2. a) Какие изменения свойствах Вашего изоляционного материала, по Вашим данным, наступают в результате краткосрочного и долгосрочного проникновения влаги в кровельную конструкцию? Оказывает ли влага влияние на прочность связей между волокнами и соединяющим веществом материала? Зависят ли вышеуказанные изменения от количества влаги, длительности ее воздействия или температурных условий? Были ли ранее использовавшиеся соединяющие вещества менее устойчивы к воздействию влаги, чем те, которые используются в настоящее время?
2. b) В какой степени данные изменения свойствах материала различаются в зависимости от типа изоляционного материала? Существуют ли различия, объясняющиеся особенностями волокнистого материала, связующего вещества или плотности материала?

По возможности мы просим Вас ответить на данные вопросы в течение 14 дней.

Подписавший данное письмо специалист будет рад предоставить Вам любую дополнительную информацию.

С уважением,
дипл. инженер. Ральф Шпилькер (Ralf Spilker)

По поручению дипл.инженера Клауса Вильмеса (Klaus Wilmes)

Изменения состояния минераловатного утеплителя в результате воздействия влаги на примере плоской кровли

Научно-исследовательский проект	Номер проекта Z 6 - 10-08-18.7 - 08.31
Короткое название:	Воздействие влаги на изоляционные материалы из минеральной ваты на примере плоской кровли
Спонсор проекта:	Исследовательская инициатива „Строительство будущего» ("Zukunft Bau") Федерального управления по строительству и территориальному планированию Deutsche Rockwool GmbH & Co. OPIG, г. Гладбек
Заказчик проекта:	AlBau (Аахенский институт строительных браков и прикладной строительной физики GmbH) Theresienstr. 19, 52702 г. Аахен
Руководитель проекта:	Дипл. инженер Ральф Шпилькер (Ralf Spilker),
При участии: Исследовательский партнер:	FIW - Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, Мюнхен Lochamer Schlag 4, 82166 г. Грефельфинг
Руководитель проекта:	Дипл. физик Йоханн Каммерер (Johannes Cammerer)
Рецензент:	Герхард Трайбер Михаэль Циммерманн (Gerhard Treiber Michael Zimmermann)
Дата:	14.02.2012
Кол-во страниц:	35 (в т.ч. Приложения)
Приложения:	21

1. Цели и задачи

В рамках настоящего научно-исследовательского проекта исследовалось воздействие влаги на свойства изоляционных материалов из минеральной ваты, установленных на плоской кровле. Результаты исследования имеют значение для технического обслуживания и восстановления уже эксплуатируемых зданий и должны способствовать выработке объективного критерия, на основе которого можно будет принимать решение о том, необходима ли замена подвергшегося воздействию влаги изоляционного материала или можно продолжить его эксплуатацию. В задачи НИИ FIW входило проведение лабораторного исследования долгосрочного воздействия влаги на минераловатный материал и определение ее влияния на устойчивость данного материала к нагрузкам при сжатии 10%. В рамках лабораторных испытаний влажные образцы помещались в температурные условия летнего и зимнего климата, а также подвергались прямому солнечному излучению, при этом симулировались реальные условия нахождения материала на плоской кровле. Для нижней части образцов поддерживалась внутренняя температура 20°C, а для верхней части поддерживался типичный для кровельного покрытия суточный ход температуры по шкале времени 1:1, повторившийся в течение 10 раз (1 цикл). Данная процедура позволяет создать реалистичные условия для диффузии пара снизу вверх и сверху вниз, приводящей к полному впитыванию воды изоляционным материалом. Помимо заданных температурных условий изоляционные материалы также подвергались испытаниям на прочность при сжатии 10%.

Для проведения испытания на устойчивость при сжатии 10% были сняты образцы с 4 плоских крыш. В одном случае была также измерена теплопроводность влажного образца.

2. Проверка на прочность при сжатии 10% и определение теплопроводности

Проверка на прочность при сжатии 10% проводилась в соответствии со стандартом DIN EN 13162 "Теплоизоляционные строительные материалы: спецификация заводских изделий продукции из минеральной ваты (MW)" и стандартом DIN EN 826 "Теплоизоляционные строительные материалы: определение их прочности к механическим нагрузкам".

Теплопроводность измерялась на основе стандарта DIN EN 12667 "Тепловые характеристики строительных материалов и изделий: определение термосопротивления с помощью пластинчатого устройства и пластин с тепловым потоком; продукция с высоким и средним термосопротивлением".

3. Лабораторные исследования структурных изменений, возникших под воздействием влаги

3.1 Образцы материала

В рамках настоящего исследования были испытаны изоляционные плиты из минеральной ваты с уплотненным покрытием типа Durock компании Deutsche Rockwool. Эти материалы, как правило, используется для изоляции плоской кровли. Номинальная толщина образцов составляет 100 мм, плотность 150 кг/м³. Образцы были сняты сотрудником FIW Мюнхен в октябре 2009 года на строительном объекте Нойбург/Донау. Образцы были нарезаны на стандартные фрагменты площадью 200 мм x 200 мм. В начале испытания в условиях температурных перепадов образцы были помещены на хранение в лабораторию, где были воссозданы соответствующие климатические условия.

3.2 Граничные значения во время испытания в условиях температурных перепадов

Суточный ход температуры на кровельной поверхности в условиях летнего и зимнего климата берутся из пункта [1] Библиографии. Под этим показателем понимаются измерения Института строительной физики Fraunhofer, сделанные в районе Хольцкирхен в течение недели в августе и в декабре 2006 года. На Рис. 1 и 2 показаны указанные в [1] Библиографии суточные температуры для лета и зимы, которые вводятся в программу в качестве кривых заданной величины.

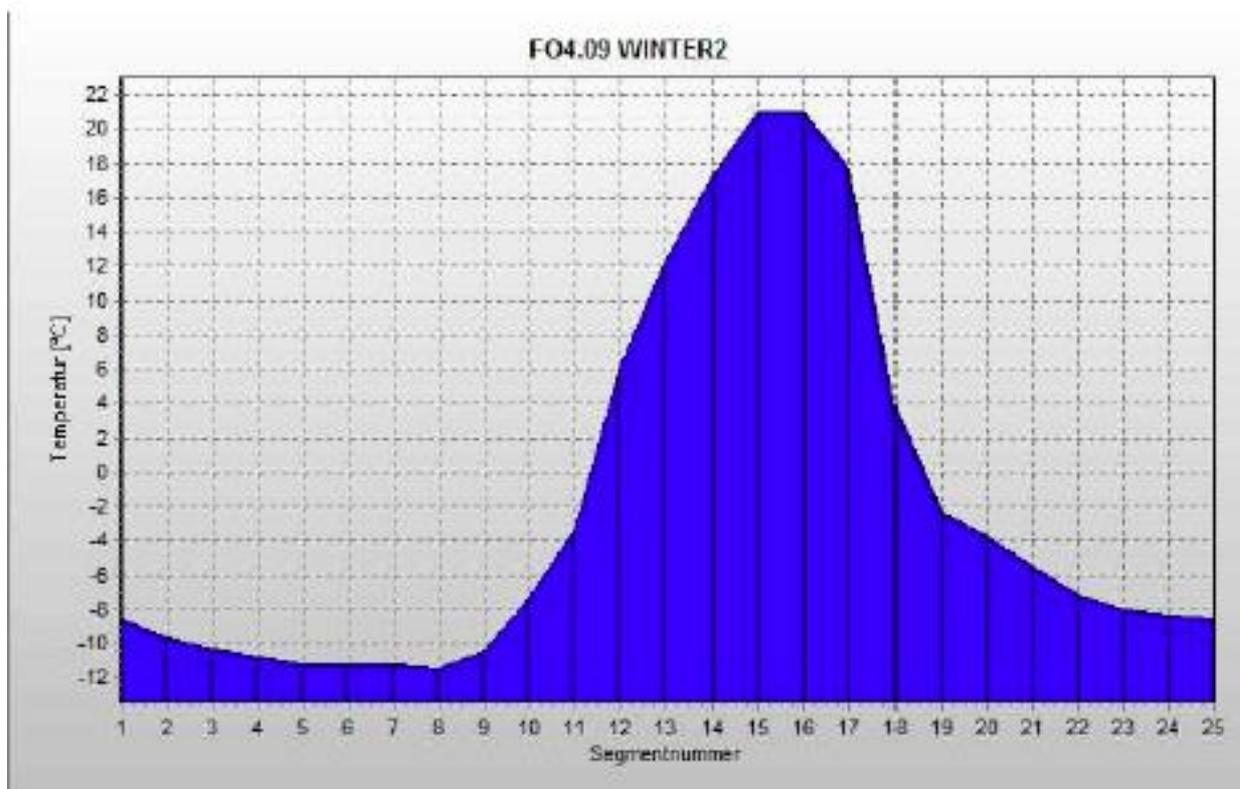


Рис. 1: Температурные показатели в верхней части изоляционного материала, условия зимнего климата. На данном графике период 24 часов иллюстрируется на 25 сегментах.

Длительность обеих температурных кривых составляет 24 часов, при этом в

процессе тестирования каждые 1:1 от суточного хода фиксировалась температура кровельного покрытия; суточный ход повторялся в течение 10 раз (= 1 цикл). Первоначально предполагалось увеличить длительность циклов. На основе результатов измерений по 10 суточным ходам было принято решение отказаться от данной меры.

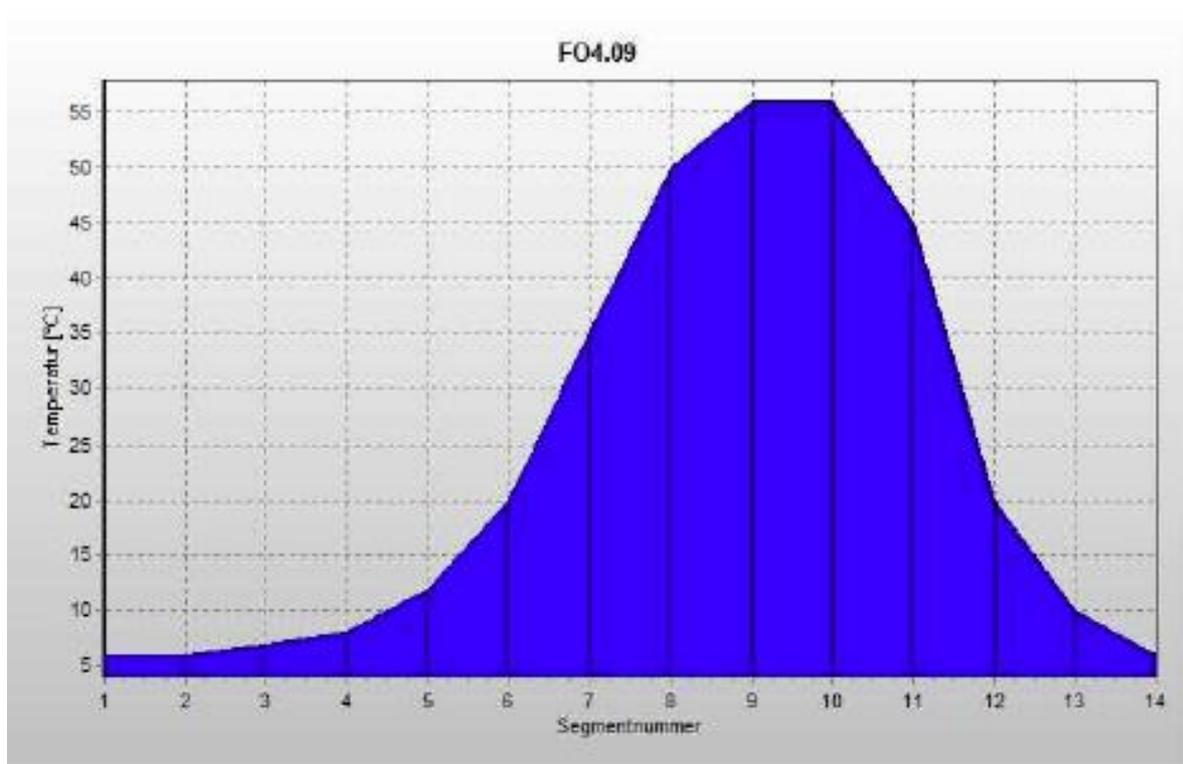


Рис. 2: Температурные показатели в верхней части изоляционного материала, условия летнего климата. На данном графике период 24 часов иллюстрируется на 14 сегментах.

Ряд испытаний материалов в условиях температурных перепадов иллюстрируется на Рис. 3.

Два горизонтально расположенных измерителя температурного режима для верхней и нижней стороны образцов соединяются при помощи жидкостного термостата. Нижний измеритель установлен на постоянную температуру 20 <€, верхний меняет свою температуру в зависимости от заданной температурной кривой. Три температурных датчика

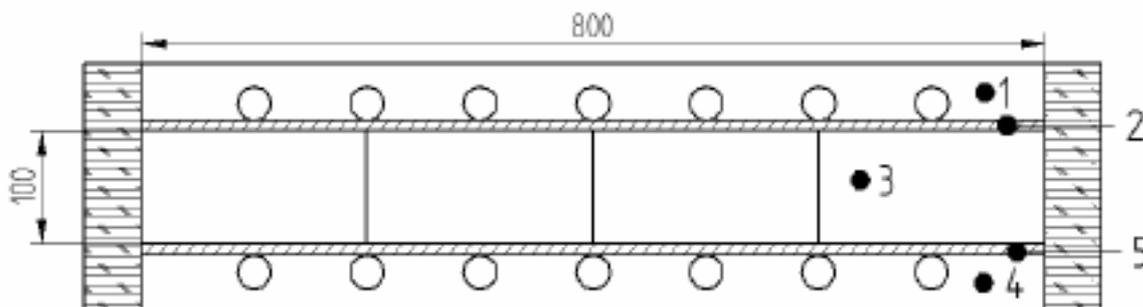


Рис. 3: Испытания материалов в условиях температурных перепадов

1. Трубки для жидкости с постоянной температурой наверху
2. Медный термостат наверху
3. Образцы
4. Трубки для жидкости с постоянной температурой внизу
5. Медный термостат внизу

установлены для контроля температуры на поверхности термостата. Все испытания защищены от влияния внешних температур теплоизоляцией и проводятся в закрытом герметичном пространстве. За счет этого обеспечивается равномерное распределение температуры для всех тестируемых образцов. После завершения испытаний в условиях температурных перепадов образцы изымаются из измерительного прибора в паронепроницаемой упаковке. Затем производится замерение массы образцов и определяется их прочность на сжатие.

3.3 Установка образцов в контрольно-испытательное оборудование

Каждый образец минераловатного материала площадью 200 мм x 200 мм и высотой 100 мм упаковывался в паро- и водонепроницаемой полиэтиленовый пакет. В качестве зависимых от массы образцов показателей содержания влаги и на основе обсуждения с заявителем работ были выставлены значения 50%, 5% и 1,5%. Полиэтиленовый пакет был наполнен необходимым для создания соответствующего содержания влаги количеством воды (Рис. 4). Часть воды впиталась в минеральное волокно в течение одного часа. Вода окончательно впитывается позже, во время испытания в условиях температурных перепадов. Полиэтиленовые пакеты с минераловатным материалом прочно закрываются, укладываются вплотную друг к другу и прижимаются с боков, чтобы избежать воздушных зазоров между образцами.



Рис. 4: Минераловатный материал с заданным содержанием влаги закреплен под пластмассовой пленкой

Между двумя большими термостатами площадью 800 мм x 800 мм были закреплены 16 образцов. При этом еще не впитавшаяся вода образует (в зависимости от наполненного объема воды) небольшой слой до 1 мм по поверхности образца минераловатного материала.



Рис. 5: Расположение образцов изоляционного материала на нижнем термостате

До и после проведения испытания замеряется вес образцов (вместе с упаковкой и водой)

3.4 Результаты измерений

Таблица 1: Результаты испытаний на прочность сразу после предварительной подготовки

Строка	Содержание влаги; Предварительная подготовка	Проверка устойчивости материалов к нагрузкам в условиях сжатия 10%						
		Образцы №	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	Среднее значение
1	Стандартные образцы, "действительное содержание влаги", без	Толщина [мм]	101,3	101,6	101,8	100,9	101,2	-
		10 [кПа]	89,3	83,8	78,5	86,4	87,6	85
		№						
2	50 m%; Летний цикл	Толщина [мм]	102,2	101,8	101,9	102,0	102,0	-
		10 [кПа]	54,7	51,6	49,1	49,8	53	52
		№	5	6	7	10	11	-
3	50 m%; Зимний цикл	Толщина [мм]	101,4	101,1	101,3	101,4	101,4	-
		10 [кПа]	50,4	49	49,5	51	50,8	50
		№	17	18	19	20	21	-
4	50 m%; Летний и зимний циклы	Толщина [мм]	101,7	102,0	102,2	101,7	101,6	-
		10 [кПа]	51,7	47,3	50,3	50,7	48,4	50
		№	1	2	3	4	8	-
5	5 m%; Зимний цикл	Толщина [мм]	101,5	101,6	101,7	101,9	101,5	-
		10 [кПа]	53,5	55,7	53,9	52,8	50,8	53
		№	22	23	24	25	26	-
6	1.5 m%; Летний цикл	Толщина [мм]	102,2	101,6	101,4	101,3	100,8	-
		10 [кПа]	53,6	52,5	56,6	57,4	56,6	55
		№	41	42	43	44	45	-
7	1.5 m%; Летний цикл	Толщина [мм]	102,2	101,5	102,0	102,1	102,0	-
		10 [кПа]	56,0	59,3	59,8	58,5	49,6	57
		№	62	63	64	65	66	-
8	1,5 m%; Летний и зимний цикл	Толщина [мм]	101,1	101,7	101,4	102,2	102,1	-
		10 [кПа]	55,4	52,7	57	53,6	57,3	55
		№	46	47	48	49	50	-
9	50 m%; Летний и зимний циклы, сушка	Толщина [мм]	101,9	101,7	101,2	102,1	102,3	-
		10 [кПа]	66,7	66,2	65,1	60,6	61,1	64
		№	12	13	14	15	16	-
10	5 m%; Зимний цикл	Толщина [мм]	101,6	102,0	101,9	102,1	102,0	-
		10 [кПа]	77	76,9	74,3	76,8	81,4	77
		№	57	58	59	60	61	-
11	0 m%; Хранение в условиях комнатной температуры в течение года	Толщина [мм]	102,1	101,7	101,2	102,1	102,3	-
		10 [кПа]	82,3	75,9	73,2	75,0	76,8	77
		№	67	68	69	70	71	-

В Таблице 1 показаны результаты испытаний на прочность, проведенных после хранения образцов в условиях температурных перепадов. Результаты в строках 1 и 11 относятся к недавно произведенным образцам и образцам после года хранения при комнатной температуре. За исключением образцов в строке 10 (сухие образцы), все остальные влажные материалы после испытаний в условиях температурных перепадов были подвергнуты испытаниям на прочность (устойчивость к нагрузкам). Образцы в строках 1, 10 и 11 не были подвергнуты воздействию влаги.

Результаты исследований показывают, что при содержании влаги 50 m% и при сжатии 10% наблюдается снижение прочности до 50 кПа вне зависимости от того, испытывались ли образцы в условиях летнего цикла, зимнего цикла или сначала летнего, а затем зимнего цикла. При содержании влаги 5 m% был зафиксирован несколько более высокий показатель прочности материалов, 56 кПа. Образцы с содержанием влаги 50 m% сначала испытывались при летнем, а затем при зимнем цикле, и после этого были высушены; их составила прочность 64 кПа, т.е. она превысила показатели влажных образцов. В завершение на прочность были испытаны два набора сухих образцов. Первый набор был помещен в условия зимнего цикла, а второй хранился в условиях нормальной комнатной температуры. Оба набора по 5 образцов в каждом продемонстрировали прочность при сжатии в пределах 77 кПа.

В Приложениях 1-12 представлены диаграммы соотношения сила-сжатие, задействованных при определении прочности материалов в условиях сжатия 10%. Примечание: для лучшей читаемости диаграмм начало кривых для второго и последующих образцов смещено вправо на 2,5%.

3.5 Повторное испытание на прочность после сушки уже испытанных на прочность образцов

Образцы, результаты испытаний на прочность которых представлены в Таблице 1, строках 2, 3, 4 и 5, были высушены и затем подвергнуты повторному испытанию на прочность (устойчивость к нагрузкам). Результаты данного испытания приведены в Таблице 2. На лицо еще большее уменьшение прочности материала

по сравнению с результатами первого испытания на прочность. Первое испытание следует признать "разрушающим". Средние значения 33, 32, 31 и 31 кПа примерно на 38% ниже, чем значения образцов, подвергнутых испытанию на прочность во влажном состоянии. Начальное значение 85 кПа снизилось примерно на 64%.

Таблица 1: Результаты повторных испытаний на прочность сразу после предварительной подготовки

Строка	Содержание влаги; Предварительная подготовка	Проверка устойчивости материалов к нагрузкам в условиях сжатия 10%						
		№	5	6	7	10	11	
1	50 т%; Летний цикл; Испытание на прочность путем сжатия; Сушка;	Толщина [мм]	101,9	101,4	102,0	101,1	101,8	
		10 [кПа]	32,3	30,9	28,6	34,0	33,7	32
		№						
2	50 т%; Летний и зимний циклы; Испытание на прочность путем сжатия; Сушка	Толщина [мм]	100,6	101,0	101,1	101,4	101,3	
		10 [кПа]	32,4	29,5	32,0	30,7	31,3	31
		№						
3	50 т%; Летний и зимний циклы; Испытание на прочность путем сжатия; Сушка	Толщина [мм]	101,4	101,8	101,8	101,6	101,9	
		10 [кПа]	32,2	29,8	30,8	30,9	30,1	31
		№						
4	5 т%; Зимний цикл; Испытание на прочность путем сжатия; Сушка;	Толщина [мм]	101,2	101,2	101,1	101,5	101,1	
		10 [кПа]	33,2	33,5	33,2	32,8	31,3	33
		№						

В Приложениях 13-16 представлены диаграммы соотношения сила-сжатие, задействованных при определении прочности материалов в условиях сжатия 10%.

4. Образцы кровли

4.1 Общая информация

Образцы с 4 кровельных покрытий, снятые заявителем, были отправлены в FIW для измерения их прочности на сжатие (устойчивости к нагрузкам) и установления теплопроводности одного образца.

4.2 Образцы с кровли №1

4.2.1 Цели и задачи

Образцы: определение массы, толщины, теплопроводности, прочности при сжатии 10% и содержания влаги.

4.2.2 Предоставленные образцы

Поступление образцов: 21.07.2010, акт приемки 3056

4.2.3 Методы испытаний

Образцы были ровно нарезаны, их теплопроводность была измерена при средней температуре 10°C, без предварительной сушки. Затем образцы были разрезаны по кромке 200 мм, для которой был определен предел прочности при сжатии A_{10} . После высушивания образцов была определена плотность в сухом состоянии и ее взаимосвязь с содержанием влаги в образцах.

4.2.4 Результаты измерений

Результаты исследований приведены в Таблице 3.

В Приложении 17 представлена диаграмма соотношения сила-сжатие, задействованных при определении прочности материалов в условиях сжатия 10%.

Таблица 3: Результаты измерений для образцов № 1

Образцы	Теплопроводность, содержание влаги	Проверка при сжатии 10%	Содержание влаги	Толщина	Плотность в сухом состоянии
№	Вт/(мК)	кПа	м%	мм	кг/м ³
1	0,0378	43,5	0,13	89,0	145
2	0,0379	25,3	0,20	90,8	140
3	0,0383	28,4	0,07	91,0	127

4.3 Образцы с кровли №2

4.3.1 Цели и задачи

Определение массы, толщины, прочности при сжатии 10% и содержания влаги.

4.3.2 Предоставленные образцы

Поступление образцов: 24.01.2011, акт приемки 3836

4.3.3 Методы испытаний

Для проведения испытания образцов на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10%, a_{10} , образцы были нарезаны на фрагменты 200 мм длиной. После испытания образцов на прочность образцы были высушены, было определено содержание влаги и их плотность в сухом состоянии.

4.3.4 Результаты измерений

Результаты исследований приведены в Таблице 4.

В Приложении 18 представлена диаграмма соотношения сила-сжатие при определении прочности материалов в условиях сжатия 10%.

Таблица 4. Результаты измерений для образцов с кровли № 2

Образцы	Проверка при сжатии 10%	Содержание влаги	Толщина	Плотность в сухом состоянии
№	кПа	г%	мм	кг/м ³
1	53,3	0,4	120,4	147
2	28,5	1,8	120,5	148
3	9,0	0,7	121,3	146
4	16,1	0,5	117,0	158
5	2,3	2,7	113,8	139

4.4 Образцы с кровли №2

4.4.1 Цели и задачи

Определение устойчивости материалов к нагрузкам при сжатии 10%, содержания влаги и плотности в сухом состоянии

4.4.2 Предоставленные образцы

Поступление образцов: 31.03.2011, акт приемки 4117

4.4.3 Методы испытаний

Для проведения испытания образцов на устойчивость к нагрузкам при сжатии, a_{10} , образцы были нарезаны на фрагменты. Ввиду значительных размеров образцов пять из них были нарезаны на фрагменты 300 мм длиной, два оставшихся - 200 мм длиной. После испытания образцов на прочность образцы были высушены, было определено содержания влаги в них и их плотность материалов в сухом состоянии.

4.4.4 Результаты измерений

Результаты исследований приведены в Таблице 5.

В Приложениях 19 и 20 представлены диаграммы соотношения сила-сжатие при определении прочности материалов в условиях сжатия 10%.

Таблица 5. Результаты измерений для образцов с кровли № 3

Образцы	Проверка при сжатии 10%	Содержание влаги	Толщина	Плотность материалов в сухом
№	кПа	m%	мм	кг/м ³
1	20,2	0,6	121,2	140
2	5,1	0,6	118,0	138
3	21,4	0,7	121,0	146
4	3,7	3,1	118,9	140
5	29,7	0,5	118,0	141
6	68,3	0,5	119,7	147
7	2,6	0,9	111,4	145

4.5. Образцы с кровли №4

4.5.1 Цели и задачи

Определение устойчивости материалов к нагрузкам при сжатии 10%, содержания влаги и плотности в сухом состоянии

4.5.2 Предоставленные образцы

Поступление образцов: 18.04.2011, акт приемки 4205

4.5.3 Методы испытаний

Для проведения испытания образцов на устойчивость к нагрузкам при сжатии 10%, образцы были нарезаны на фрагменты. Ввиду значительных размеров оба образца были нарезаны на фрагменты 300 мм длиной. После испытания образцов на прочность образцы были высушены, было определено содержание влаги и их плотность в сухом состоянии.

4.5.4 Результаты измерений

Результаты исследований приведены в Таблице 6.

В Приложении 21 представлена диаграмма соотношения сила-сжатие при определении прочности материалов в условиях сжатия 10%.

Таблица 6. Результаты измерений для образцов с кровли № 4

Образцы	Проверка при сжатии 10%	Содержание влаги	Толщина	Плотность материалов в сухом состоянии
№	кПа	т%	мм	кг/м ³
1	67,5	2,7	119,7	160
2	59,4	84,0	118,2	176

5. Подведение итогов

Необходимо было определить, какое влияние оказывает содержание влаги в изоляционном материале из минеральной ваты в конструкциях теплой кровли на устойчивость изоляционного материала к нагрузкам при сжатии 10%. Для этого образцы были подвергнуты различной степени воздействия влаги и испытаны в разных температурных условиях в рамках полномасштабного лабораторного исследования. На нижней стороне изоляционного материала была задана постоянная температура в пределах 20°C. На верхней стороне, перекрываемой кровельной поверхностью, был задан суточный ход температур по шкале времени 1:1, повторившийся в течение 10 раз (1 цикл), при этом проводилась симуляция зимнего и летнего температурных циклов. Содержание влаги в минераловатном материале составило 50 т%, 5 т%, 1,5 т% и 0 т%. Сразу же после испытаний в условиях температурных перепадов образцы были испытаны на прочность при сжатии 10%, при этом были получены следующие данные: устойчивость влажного изоляционного материала к нагрузкам при сжатии 10% значительно уменьшается по сравнению с прочностными свойствами недавно изготовленной изоляционной продукции. При этом существенных различий между воздействием зимних и летних температур (по 10 дней) или сочетании зимних и летних температур (в

общей сложности 20 дней), отмечено не было. Прочность образцов с содержанием влаги 50 m% при сжатии 10% составила от 50 до 52 кПа; с содержанием влаги 1,5 m% - около 56 кПа. Для сухих образцов были получены показатели 77 кПа (как после хранения при комнатной температуре в течение одного года, так и в результате воздействия зимних температур в измерительном приборе). Повторное испытание образцов на прочность, подвергшихся процессу сушки при 70 °С после первого испытания на прочность, также вызвало еще большее уменьшение прочности материалов при сжатии 10%.

Снятые с тестируемой кровли образцы продемонстрировали очень разные показатели прочности при сжатии 10%. Показатели варьируются в пределах от 2 до 68 кПа. Дальнейшая оценка полученных данных может быть сделана при наличии более точных данных о предыстории эксплуатации изоляционного материала.

В рамках данного исследования минераловатные образцы с разным содержанием влаги лишь выборочно подвергались испытаниям в условиях температурных перепадов. Дальнейшие результаты могут быть получены в рамках систематического исследования образцов с меньшим содержанием влаги в течение более продолжительных циклов.

Перспективным направлением исследований может стать лабораторное измерение среднего значения теплопроводности для влажных минераловатных материалов в температурных условиях зимнего и летнего периода.

6. Библиография

- [1] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Bludau, C.: Составление испытания на определение долговечности материалов из минеральной ваты на основе гигротермического воздействия на плоскую кровлю. 11DBMC Международная конференция "Долговечность строительных материалов и компонентов", СТАМБУЛ, ТУРЦИЯ, 11-14 мая 2008

Приложения 1-21

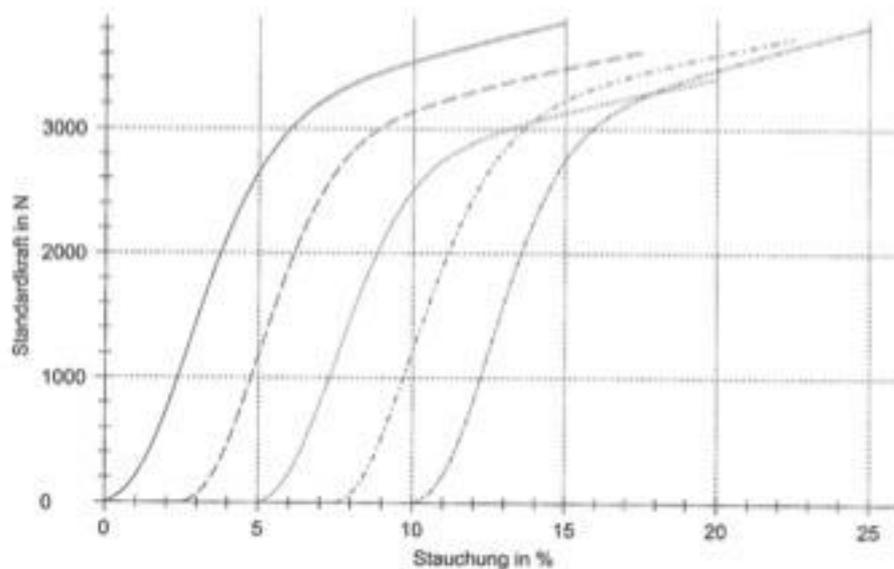
Примечание: для лучшей читаемости диаграмм начало кривых для второго и последующих образцов смещено вправо на 2,5%.

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_{10} : 30 %

Nr	date	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{20%} N	E _{50%} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Remark
1	13.11.2009	201,0	201,1	101,3	156,1	808	1337	1826	3853	-	-	36,6	89,3	-	
2		201,1	201,1	101,6	150,2	809	1448	1858	3616	-	-	37,1	83,8	-	
3		201,1	201,4	101,8	150,9	810	1507	1715	3404	-	-	34,3	78,5	-	
4		201,2	201,1	100,9	148,5	809	1590	1742	3725	-	-	34,8	86,4	-	
$\bar{\sigma}$		201,0	201,2	101,2	156,8	809	1590	1914	3814	-	-	38,3	87,6	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	404	148,5	3404	1715	-	-	34,3	78,5	-
max	405	156,8	3853	1914	-	-	38,3	89,3	-
x	405	152,5	3682	1811	-	-	36,2	85,1	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	85

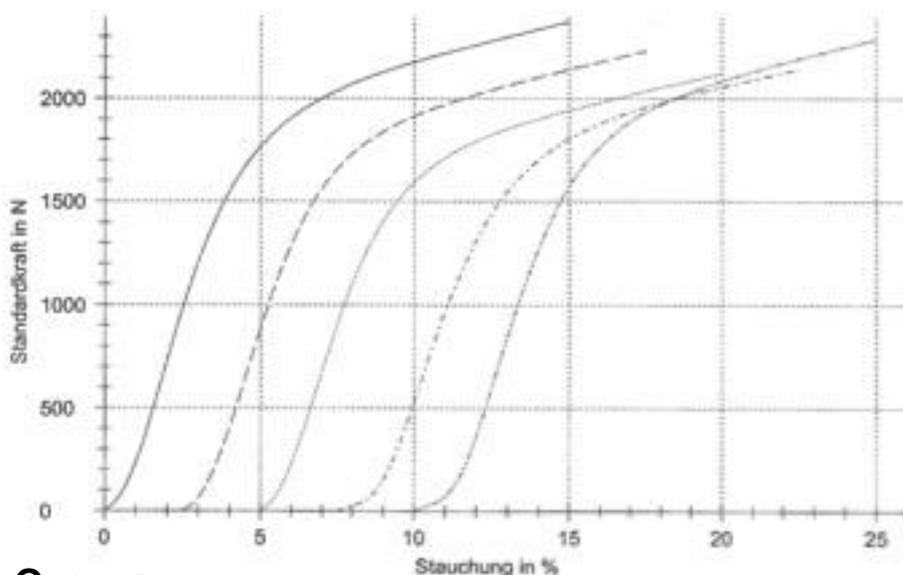
Приложение 1: Процесс испытания недавно произведенных минераловатных образцов на устойчивость к нагрузкам. Измерение от 13.11.2009

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_x : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	10.04.2010	200,4	200,9	102,2	148,8	396	1118	1273	2372	-	-	25,4	54,7	-	Probe 1
2		200,0	200,3	101,8	147,6	394	1112	1185	2229	-	-	23,8	51,6	-	Probe 2
3		199,8	200,1	101,9	145,7	393	903	1172	2121	-	-	23,3	49,1	-	Probe 3
4		202,5	199,5	102,0	141,5	397	912	1114	2141	-	-	22,2	49,8	-	Probe 4
5		200,1	201,8	102,0	144,2	397	912	1206	2286	-	-	24,0	53,0	-	Probe 5

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	400	141,5	2121	1114	-	-	22,2	49,1	-
max	404	148,8	2372	1273	-	-	25,4	54,7	-
x	402	145,6	2230	1190	-	-	23,7	51,6	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	52

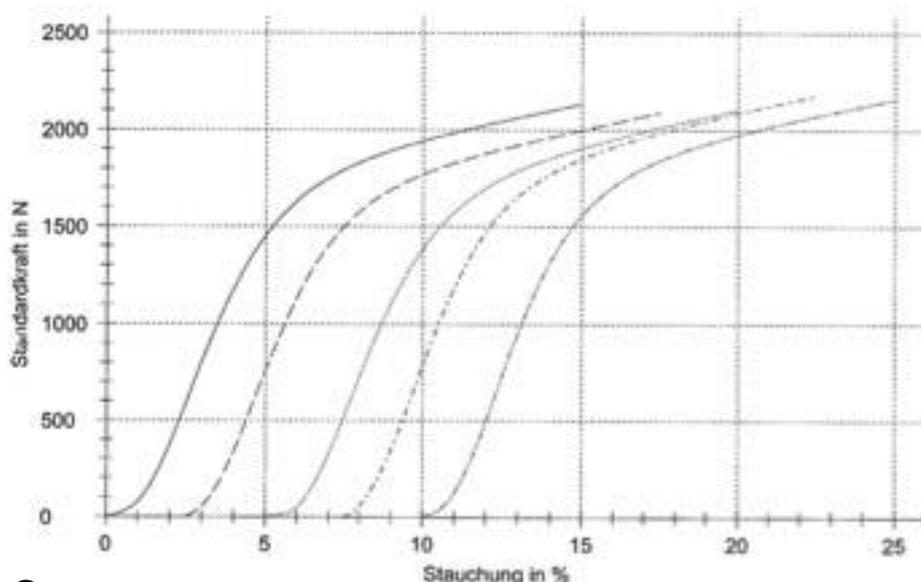
Приложение 2: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полного летнего цикла. Содержание влаги 50 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Benennung
1	04.05.2016	198,8	198,5	101,4	144,0	346	770	1087	2133	-	-	21,7	50,4	-	Probe 17
2		198,1	198,9	101,1	144,6	358	769	1078	2088	-	-	21,5	49,0	-	Probe 18
3		198,5	199,5	101,3	143,8	360	773	1044	2101	-	-	20,9	49,5	-	Probe 19
4		199,5	198,2	101,4	148,1	449	945	1131	2175	-	-	22,6	51,0	-	Probe 20
5		198,4	199,4	101,4	145,3	449	945	1160	2156	-	-	23,2	50,8	-	Probe 21

График:



Оценка:

Serie	A ₀ cm ²	Dichte kg/m ³	F _{max} N	E* kPa	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa
n = 5									
min	394	143,8	2088	1044	-	-	20,9	49,0	-
max	398	148,1	2175	1160	-	-	23,2	51,0	-
x	395	145,2	2131	1100	-	-	22,0	50,1	-

Serie	σ_m kPa	X _m %	σ_{10} kPa
n = 5			
x	-	-	50

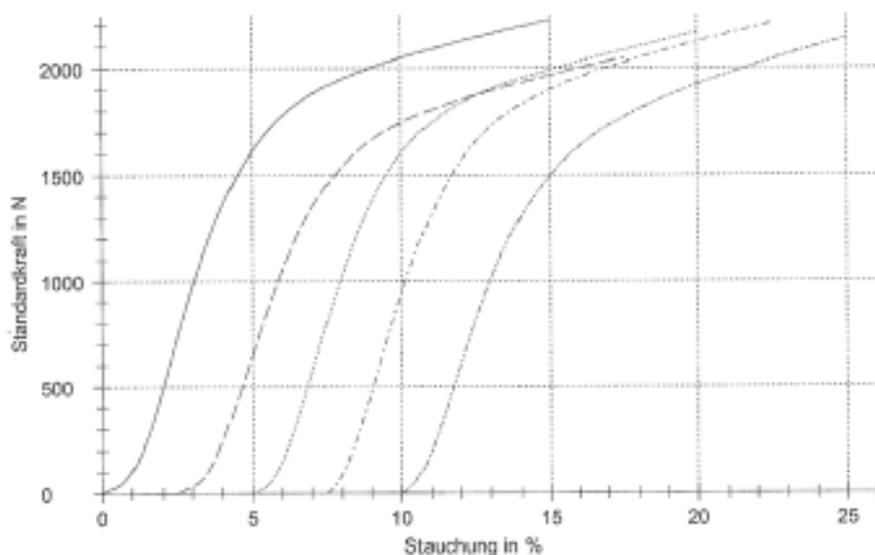
Приложение 3: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после зимнего цикла. Содержание влаги 50 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_{10} : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	04.09.2010	200,8	201,2	101,7	147,1	332	817	1221	2224	-	-	24,2	51,7	-	Probe 1
2		202,5	199,5	102,0	141,7	333	769	1051	2045	-	-	21,0	47,3	-	Probe 2
3		199,8	201,1	102,2	145,7	371	865	1181	2163	-	-	23,4	50,3	-	Probe 3
4		200,3	201,2	101,7	146,8	372	868	1173	2208	-	-	23,3	50,7	-	Probe 4
		200,8	200,4	101,6	147,4	371	866	1046	2135	-	-	20,8	48,4	-	Probe 5

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	402	141,7	2045	1046	-	-	20,8	47,3	-
max	404	147,4	2224	1221	-	-	24,2	51,7	-
x	403	145,7	2155	1134	-	-	22,5	49,7	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	50

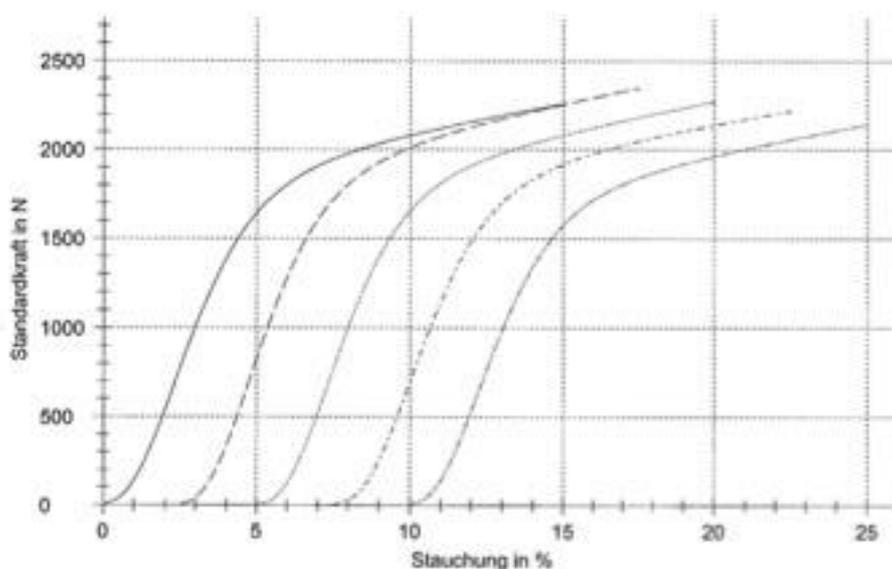
Приложение 4: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полных летнего и зимнего циклов. Содержание влаги 50 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	04.05.2010	196,3	199,3	101,5	143,9	362	984	1200	2259	-	-	24,0	53,5	-	Probe 22
2		196,2	198,5	101,6	148,9	444	979	1286	2347	-	-	25,6	55,7	-	Probe 23
3		198,0	198,5	101,7	147,1	443	854	1248	2271	-	-	24,9	53,9	-	Probe 24
4		199,2	198,6	101,9	144,8	402	928	1197	2218	-	-	23,9	52,8	-	Probe 25
		198,2	198,4	101,5	143,0	452	922	1176	2142	-	-	23,4	50,8	-	Probe 26

График:



Оценка:

Serie	A _c cm ²	Dichte kg/m ³	F _{max} N	E* kPa	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa
n = 5									
min	393	143,0	2142	1176	-	-	23,4	50,8	-
max	396	148,9	2347	1286	-	-	25,6	55,7	-
x	394	145,5	2247	1221	-	-	24,4	53,3	-

Serie	σ_m kPa	Xm %	σ_{10} kPa
n = 5			
x	-	-	53

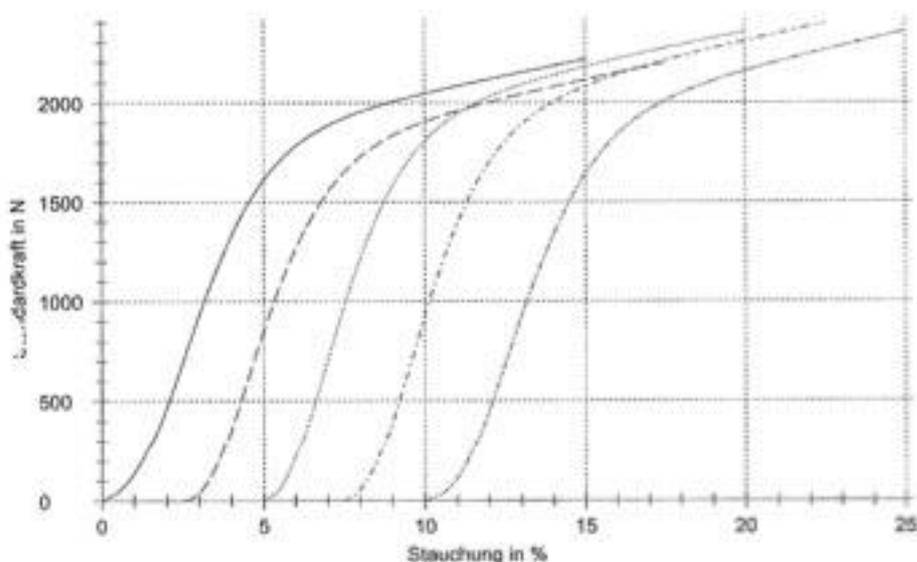
Приложение 5: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полного зимнего цикла. Содержание влаги 5 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung
1	13.09.2010	197,5	196,5	102,2	153,4	375	952	1182	2215	-	-	23,7	53,6	-	»
2		197,7	197,4	101,6	152,9	377	957	1274	2194	-	-	25,2	52,5	-	»
3		197,5	197,4	101,4	155,8	376	956	1390	2351	-	-	27,3	56,6	-	»
4		197,9	197,4	101,3	155,3	377	958	1392	2395	-	-	27,6	57,4	-	»
		197,5	197,0	100,8	155,9	376	954	1218	2354	-	-	24,3	56,6	-	»

График:



Оценка:

Serie	A _e	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σm	σ2	σ10	σx
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	388	152,9	2194	1182	-	-	23,7	52,5	-
max	391	155,9	2395	1392	-	-	27,6	57,4	-
x	390	154,7	2302	1289	-	-	25,6	55,3	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	55

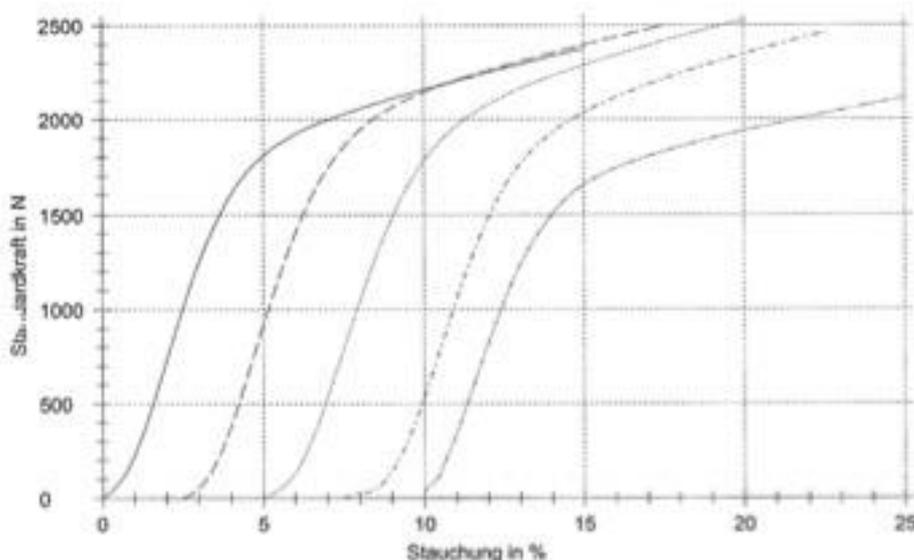
Приложение 6: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полного летнего цикла. Содержание влаги 1,5 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_2 : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	17.11.2016	197,8	197,6	102,2	151,1	335	1052	1384	2374	-	-	27,6	56,0	-	cc
2		198,0	197,4	101,5	153,0	387	1052	1378	2494	-	-	27,5	59,3	-	cc
3		197,9	197,6	102,0	153,3	424	1107	1309	2527	-	-	26,2	59,8	-	cc
4		198,1	197,8	102,1	154,8	425	1109	1315	2459	-	-	26,3	58,5	-	cc
		198,7	197,5	102,0	144,2	308	1003	1221	2112	-	-	24,3	49,6	-	cc

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	391	144,2	2112	1221	-	-	24,3	49,6	-
max	392	154,8	2527	1384	-	-	27,6	59,8	-
x	391	151,3	2393	1321	-	-	26,4	56,7	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	57

Приложение 7: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полного зимнего цикла. Содержание влаги 1,5 m%

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, г. Мюнхен

Уполномоченный орган (сертифицированная испытательная лаборатория)
0751 в соответствии с законом о строительстве ФРГ BauPG

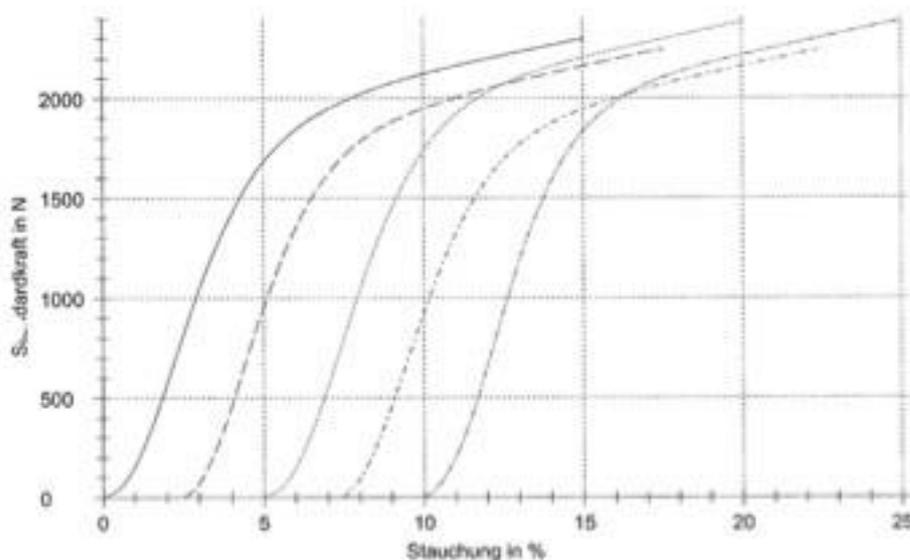


Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_2 : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{bw} N	E _{exp} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	07.11.2008	197,4	197,0	101,1	150,8	375	1005	1232	2297	-	-	24,6	55,4	-	se
2		197,5	200,5	101,7	144,4	344	998	1243	2244	-	-	24,8	52,7	-	se
3		198,6	197,5	101,4	150,1	379	1044	1233	2380	-	-	24,7	57,0	-	se
4		197,5	197,0	102,2	145,4	390	1004	1178	2244	-	-	23,5	53,6	-	se
		197,9	197,4	102,1	149,4	351	1151	1341	2386	-	-	26,9	57,3	-	se

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	389	144,4	2244	1178	-	-	23,5	52,7	-
max	396	150,8	2386	1341	-	-	26,9	57,3	-
\bar{x}	391	148,0	2310	1246	-	-	24,9	55,2	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
\bar{x}	-	-	55

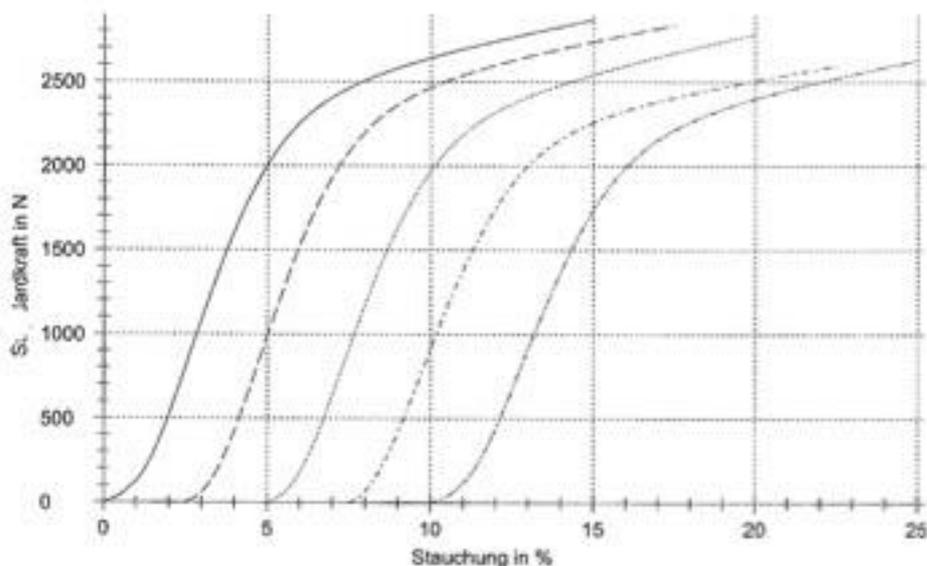
Приложение 8: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полных летнего и зимнего циклов. Содержание влаги 1,5 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	31.08.2016	200,0	202,0	101,9	146,6	808	1616	1339	2867	-	-	26,9	66,7	-	ke 10
2		200,6	200,1	101,7	149,4	803	1606	1358	2834	-	-	27,2	66,2	-	ke 10
3		200,0	198,0	101,2	146,8	792	1584	1260	2781	-	-	25,2	65,1	-	ke 10
4		200,1	200,2	102,1	141,8	801	1602	1129	2595	-	-	22,4	60,6	-	ke 10
5		200,0	200,5	102,3	143,2	802	1604	1102	2628	-	-	21,8	61,1	-	ke 10

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	396	141,8	2595	1102	-	-	21,8	60,6	-
max	404	149,4	2867	1358	-	-	27,2	66,7	-
x	401	145,6	2741	1238	-	-	24,7	63,9	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	64

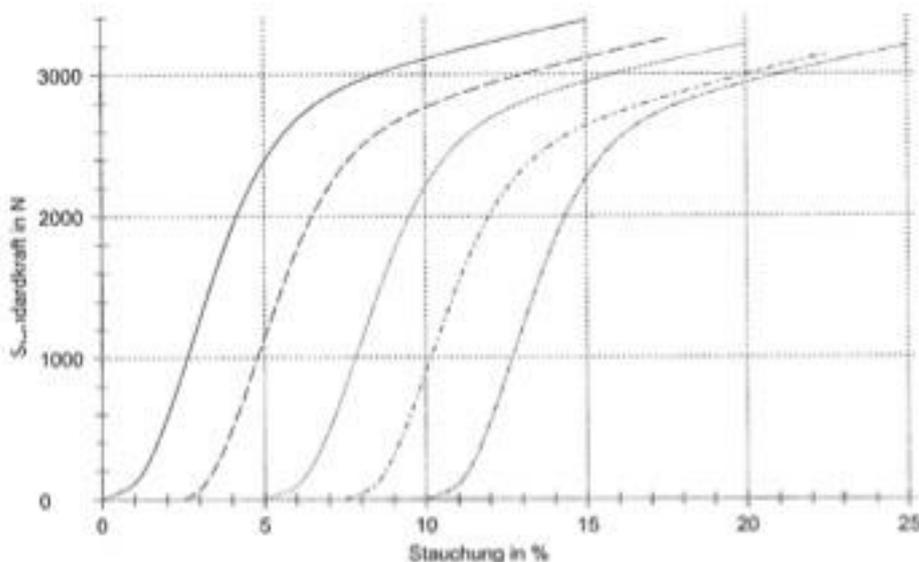
Приложение 9: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полных летнего и зимнего циклов. Содержание влаги 50 m% Затем сушка и проверка на прочность (устойчивость к нагрузкам).

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_x : 30 %

Nr	Dicke	l	b	d0	Dichte	E _{low}	E _{high}	E*	F _{max}	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x	Beurteilung
		mm	mm	mm	kg/m ³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	10 ± 0,05	198,0	197,5	102,0	151,5	782	1564	1804	3382	-	-	36,1	81,4	-	se
2		198,0	197,9	101,6	150,9	784	1567	1689	3250	-	-	33,5	77,0	-	se
3		198,3	198,4	102,0	151,7	787	1574	1649	3211	-	-	33,1	76,9	-	se
4		198,2	197,5	101,9	152,1	783	1566	1607	3137	-	-	32,3	74,3	-	se
		198,1	197,7	102,1	148,2	783	1567	1714	3198	-	-	34,3	76,8	-	se

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	391	148,2	3137	1607	-	-	32,3	74,3	-
max	393	152,1	3382	1804	-	-	36,1	81,4	-
x	392	150,9	3236	1688	-	-	33,8	77,3	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	77

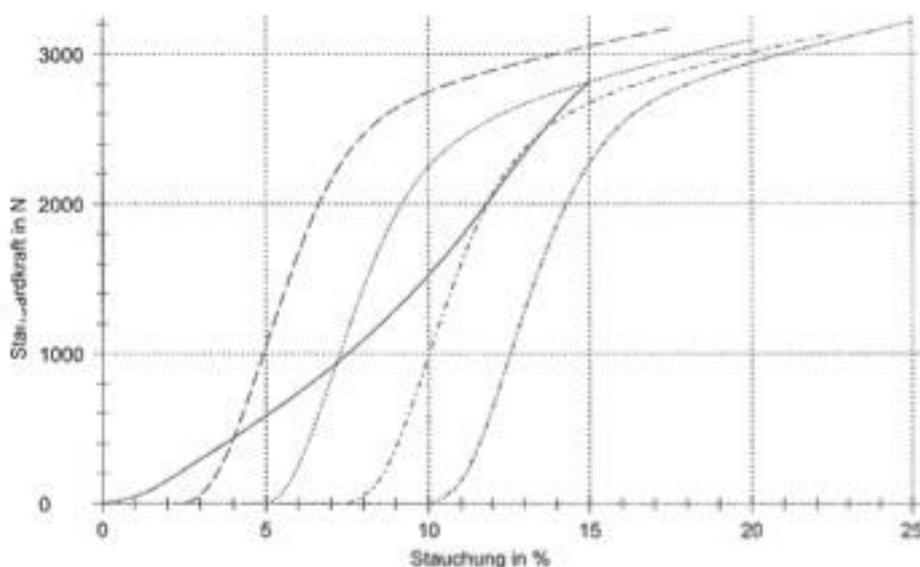
Приложение 10: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после полного зимнего цикла. Содержание влаги 0 m%

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_x : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	17.11.2010	198,1	197,9	101,5	150,6	784	1568	509	2813	-	-	12,8	55,8	-	67
2		198,2	197,6	101,7	147,3	783	1567	1648	3173	-	-	33,0	75,9	-	68
3		197,6	197,4	101,8	148,5	744	1447	1564	3099	-	-	31,4	73,2	-	69
		197,7	197,4	102,1	147,1	556	1448	1636	3137	-	-	32,6	75,0	-	70
4		197,8	197,6	102,0	151,6	557	1450	1655	3218	-	-	33,1	76,8	-	71

График:



Оценка:

Serie	A ₀ cm ²	Dichte kg/m ³	F _{max} N	E* kPa	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa
n = 5									
min	390	147,1	2813	509	-	-	12,8	55,8	-
max	392	151,6	3218	1655	-	-	33,1	76,8	-
x	391	149,0	3088	1403	-	-	28,6	71,4	-

Serie	σ_m kPa	Xm %	σ_{10} kPa
n = 5			
x	-	-	71

Приложение 11: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность после хранения при стандартной температуре в течение 1 года. Измерение от 17.11.2010 (4 образца измеряются 68-71; по 5-ому образцу см. Приложение 12)

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, г. Мюнхен

Уполномоченный орган (сертифицированная испытательная лаборатория)
0751 в соответствии с законом о строительстве ФРГ BauPG

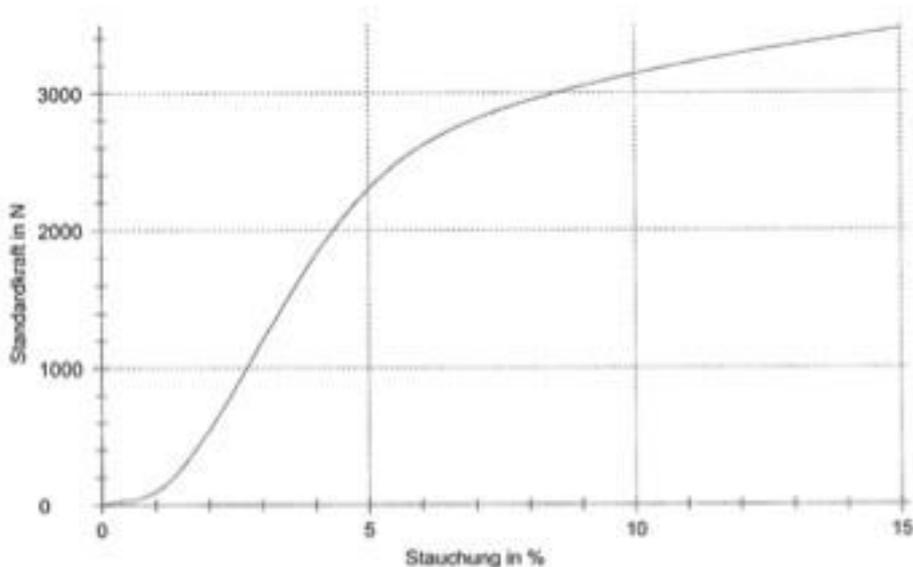


Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bezeichnung
1	17.11.2010	198,1	197,9	102,1	149,8	784	1568	1687	3462	-	-	33,8	82,3	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 1	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	392	149,8	3462	1687	-	-	33,8	82,3	-
max	392	149,8	3462	1687	-	-	33,8	82,3	-
x	392	149,8	3462	1687	-	-	33,8	82,3	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 1	kPa	%	kPa
x	-	-	82

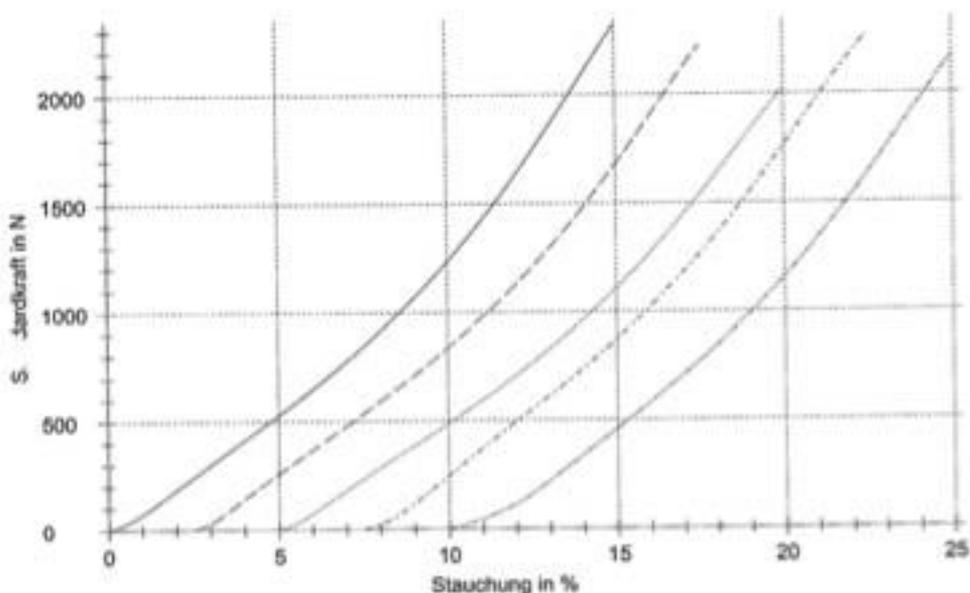
Приложение 12: Процесс испытания минераловатных образцов на прочность (5 образцов) после хранения при комнатной температуре в течение 1 года. Измерение 17.11.2010 (см. Приложение 11)

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ _m kPa	σ ₂ kPa	σ ₁₀ kPa	σ _x kPa	Bemerkung
1	31.08.2013	200,4	200,9	101,9	148,9	153	385	285	2324	-	-	5,7	32,3	-	W 1
2		200,0	200,3	101,4	148,0	152	383	281	2225	-	-	5,6	30,9	-	W 2
3		199,8	200,1	102,0	145,4	152	382	255	2024	-	-	5,1	28,6	-	W 3
4		202,5	199,5	101,1	142,8	153	386	315	2274	-	-	6,3	34,0	-	W 4
		200,1	201,8	101,8	144,3	153	396	296	2172	-	-	5,9	33,7	-	W 5

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ _m	σ ₂	σ ₁₀	σ _x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	400	142,8	2024	255	-	-	5,1	28,6	-
max	404	148,9	2324	315	-	-	6,3	34,0	-
x	402	145,9	2204	286	-	-	5,7	31,9	-

Serie	σ _m	X _m	σ ₁₀
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	32

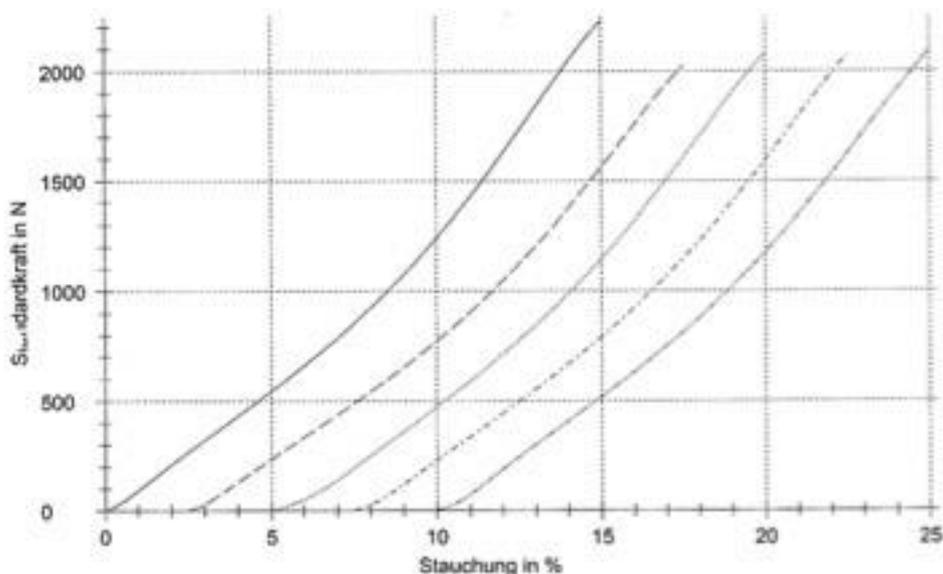
Приложение 13: Повторное испытание минераловатных образцов на прочность после предварительной подготовки: летний цикл при содержанием влаги 50 m%, первое испытание на прочность и сушка

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_{10} : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	01.08.2010	198,8	198,5	100,6	145,2	90	279	298	2228	-	-	5,9	32,4	-	14-17
2		198,1	198,9	101,0	144,4	90	278	265	2022	-	-	5,3	29,5	-	14-18
3		198,5	199,2	101,1	143,9	90	279	274	2079	-	-	5,5	32,0	-	14-19
4		199,5	198,2	101,4	147,7	90	279	276	2072	-	-	5,5	30,7	-	14-20
		198,4	199,4	101,3	145,0	90	280	295	2089	-	-	5,9	31,3	-	14-21

График:



Оценка:

Serie	A ₀ cm ²	Dichte kg/m ³	F _{max} N	E* kPa	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa
n = 5									
min	394	143,9	2022	265	-	-	5,3	29,5	-
max	396	147,7	2228	296	-	-	5,9	32,4	-
x	395	145,2	2098	281	-	-	5,6	31,2	-

Serie	σ_m kPa	X _m %	σ_{10} kPa
n = 5			
x	-	-	31

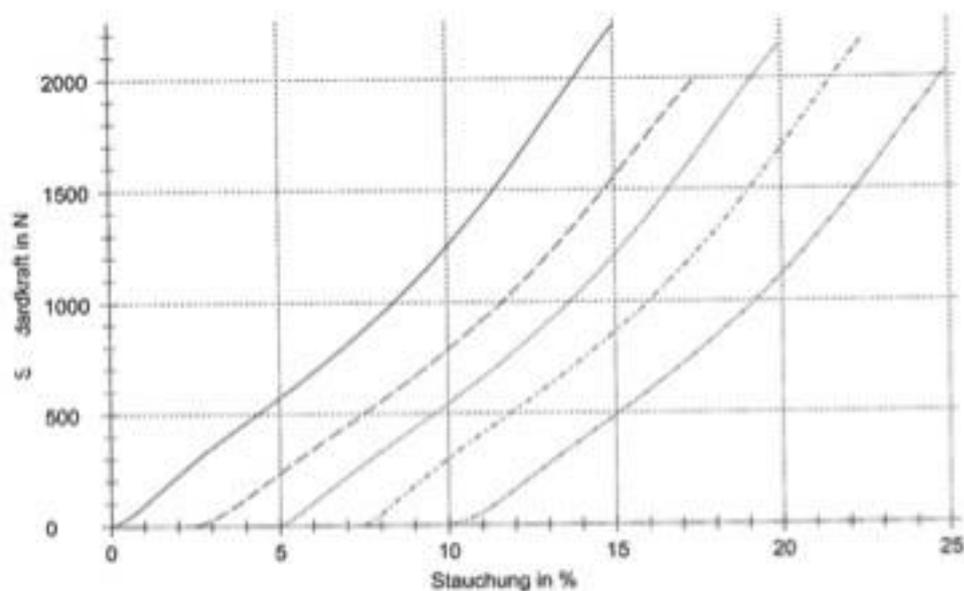
Приложение 14: Повторное испытание минераловатных образцов на прочность после предварительной подготовки: зимний цикл при содержании влаги 50 m%, первое испытание на прочность и сушка.

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	31.08.2010	200,6	201,2	101,4	147,5	94	219	330	2237	-	-	6,6	32,2	-	№ 1
2		200,5	199,5	101,8	143,4	93	217	280	2002	-	-	5,6	29,8	-	№ 2
3		199,8	200,1	101,8	146,9	93	217	290	2152	-	-	5,8	30,8	-	№ 3
4		200,3	201,3	101,6	146,7	94	219	312	2181	-	-	6,2	30,9	-	№ 4
		200,6	201,3	101,9	146,0	97	207	283	2039	-	-	5,7	30,1	-	№ 5

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	400	143,4	2002	280	-	-	5,6	29,8	-
max	404	147,5	2237	330	-	-	6,6	32,2	-
x	402	146,1	2122	299	-	-	6,0	30,8	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	31

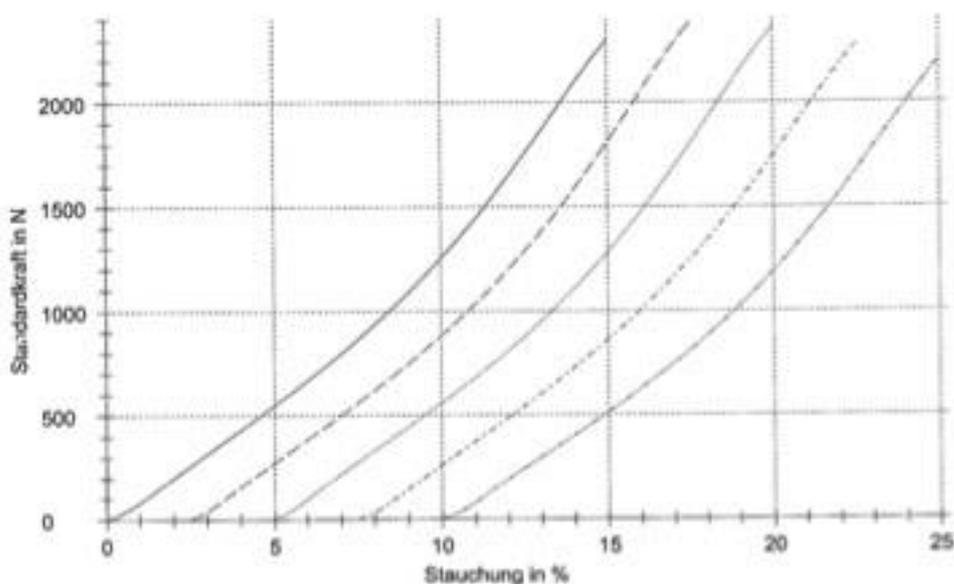
Приложение 15: Повторное испытание минераловатных образцов на прочность после предварительной подготовки: летний и зимний циклы при содержании влаги 50 m%, первое испытание на прочность и сушка.

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_x : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	01.09.2019	198,3	199,3	101,2	143,8	121	304	302	2294	-	-	6,0	33,2	-	№ 20
2		198,2	198,5	101,2	148,9	120	302	299	2378	-	-	6,0	33,5	-	№ 20
3		198,0	198,5	101,1	147,3	120	302	296	2358	-	-	5,9	33,2	-	№ 20
4		199,2	198,6	101,5	144,9	121	304	297	2274	-	-	6,0	32,8	-	№ 20
		198,2	198,4	101,1	143,2	120	302	279	2196	-	-	5,6	31,3	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	393	143,2	2196	279	-	-	5,6	31,3	-
max	396	148,9	2378	302	-	-	6,0	33,5	-
x	394	145,6	2300	295	-	-	5,9	32,8	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	33

Приложение 16: Повторное испытание минераловатных образцов на прочность после предварительной подготовки: зимний цикл при содержании влаги 5 m%, первое испытание на прочность и сушка.

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, г. Мюнхен

Уполномоченный орган (сертифицированная испытательная лаборатория)
0751 в соответствии с законом о строительстве ФРГ BauPG

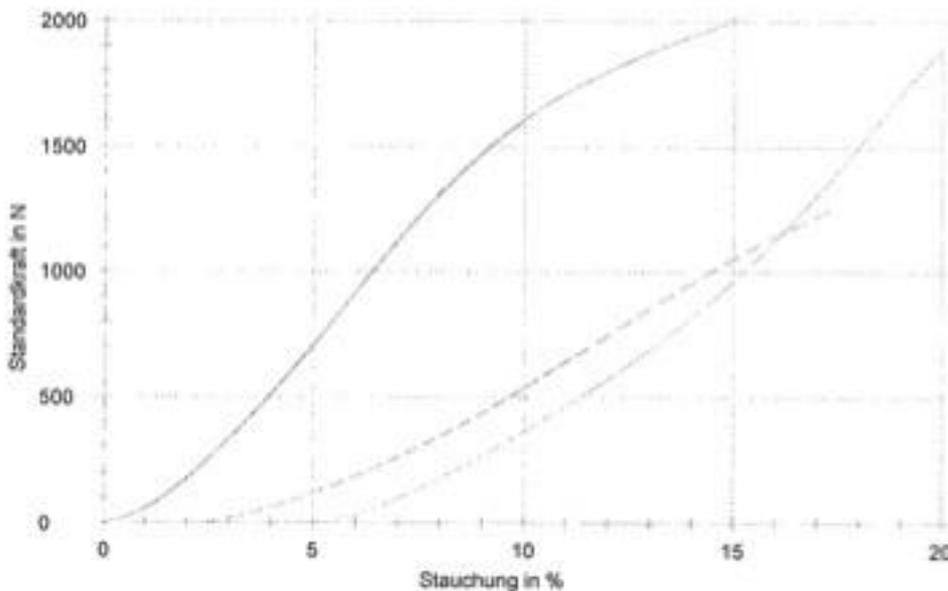


Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_k : 30 %

Nr	Detail	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	21.08.2018	200,0	200,0	88,9	141,8	350	693	473	2001	-	-	9,5	43,5	-	
2		199,0	200,0	90,0	141,2	348	596	247	1261	-	-	5,6	25,3	-	
3		199,0	200,0	88,7	136,1	100	387	226	1884	-	-	4,5	28,4	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 3	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	398	136,1	1281	226	-	-	4,5	25,3	-
max	400	141,8	2001	473	-	-	9,5	43,5	-
x	399	139,7	1715	315	-	-	6,5	32,4	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 3	kPa	%	kPa
x	-	-	32

Приложение 17: Испытание на прочность минераловатных образцов с кровли №1.

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, г. Мюнхен

Уполномоченный орган (сертифицированная испытательная лаборатория)
0751 в соответствии с законом о строительстве ФРГ BauPG

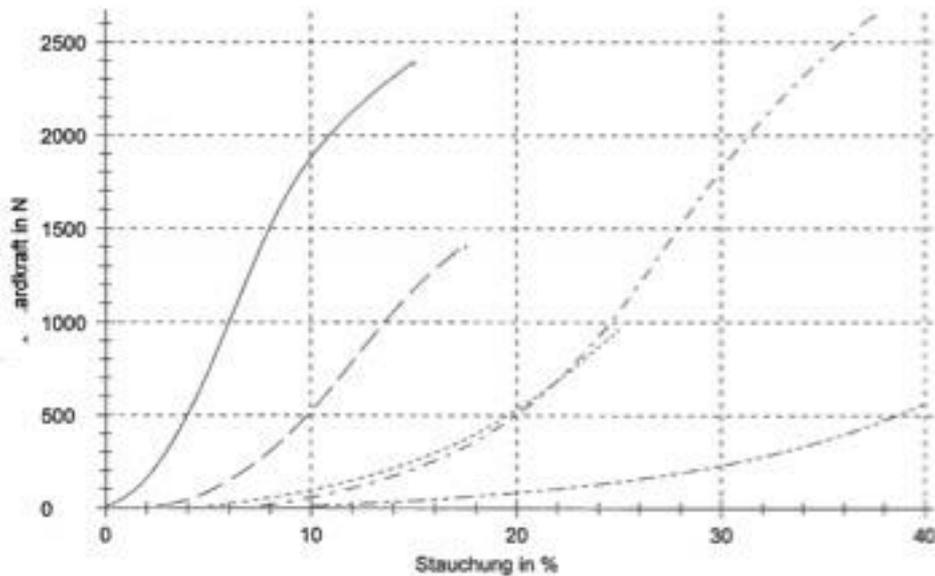


Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_c : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E _{high} N	E* kPa	F _{max} N	X _m %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	26.01.2011	200,0	201,0	120,4	147,57	804	1406	655	2395	-	-	13,70	53,34	-	
2		199,0	200,0	120,5	150,57	243	374	230	1411	-	-	4,88	28,48	-	
3		200,0	202,0	121,3	146,70	136	208	79	960	-	-	2,02	9,01	-	
4		201,0	198,0	117,0	158,64	268	387	141	2647	-	-	3,92	16,08	-	
-		200,0	200,0	113,8	142,48	57	92	23	563	-	-	0,66	2,34	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	X _m	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	398	142,48	563	23	-	-	0,66	2,34	-
max	404	158,64	2647	655	-	-	13,70	53,34	-
x	400	149,19	1595	226	-	-	5,04	21,85	-

Serie	σ_m	X _m	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
x	-	-	22

Bemerkung nach Prüfung : Subjektiver Eindruck: Teilbereiche der Proben erscheinen sehr weich, andere Bereiche eher hart.
Rohdichte bezieht sich auf das Gewicht feucht.

Приложение 18: Испытание на прочность минераловатных образцов с кровли № 2.

Научно-исследовательский институт теплоизоляционных материалов, г. Мюнхен

Уполномоченный орган (сертифицированная испытательная лаборатория)
0751 в соответствии с законом о строительстве ФРГ BauPG

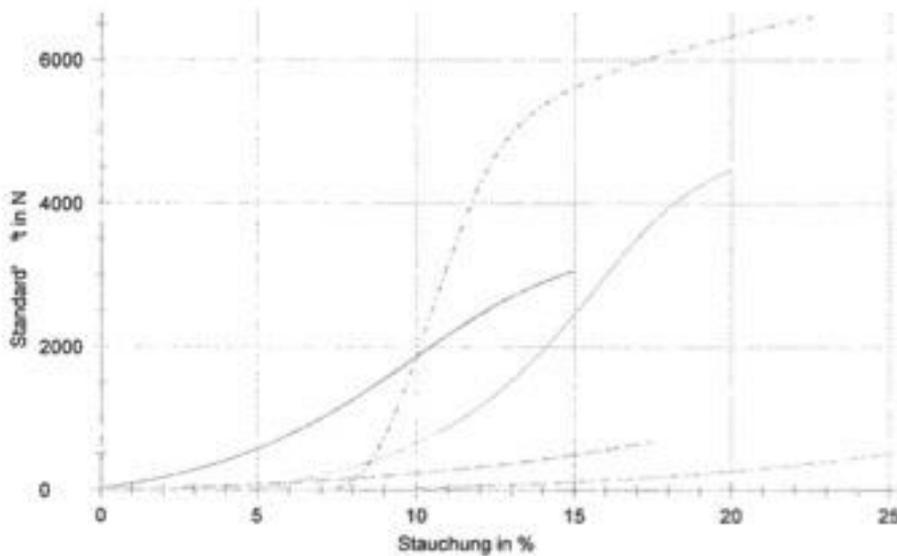


Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_x : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	05.04.2011	300,0	300,0	121,0	141,19	107	103	3067	-	-	2,07	21,39	-	
2		300,0	300,0	118,9	144,01	62	29	685	-	-	0,59	3,67	-	
3		300,0	300,0	118,0	141,49	188	133	4475	-	-	2,65	29,70	-	
4		301,0	300,0	119,7	147,38	1439	1415	6612	-	-	28,47	68,32	-	Probe beschadet und kann nicht auswerten.
5		300,0	300,0	111,4	145,97	56	21	510	-	-	0,45	2,58	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 5	cm ²	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	900	141,19	510	21	-	-	0,45	2,58	-
max	903	147,38	6612	1415	-	-	28,47	68,32	-
\bar{x}	901	144,01	3070	340	-	-	6,85	25,13	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 5	kPa	%	kPa
\bar{x}	-	-	25

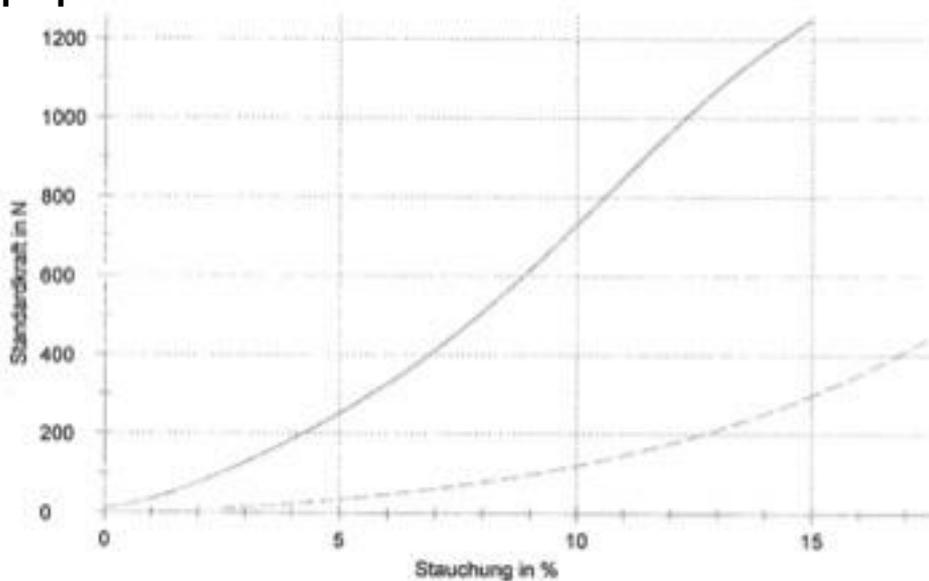
Приложение 19: Испытание на прочность минераловатных образцов с кровли №3: образцы 1-5

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_x : 30 %

Nr	Dauer	l	b	d0	Dichte	E _{low}	E _{high}	E*	F _{max}	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x	Bezeichnung
		mm	mm	mm	kg/m ³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	01.04.2011	200,0	200,0	121,2	141,35	82	158	135	1247	-	-	2,70	20,17	-	
2		200,0	201,0	118,0	138,70	45	64	37	444	-	-	0,79	5,13	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀	Dichte	F _{max}	E*	Xm	σ_m	σ_2	σ_{10}	σ_x
n = 2	cm ³	kg/m ³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	400	138,70	444	37	-	-	0,79	5,13	-
max	402	141,35	1247	135	-	-	2,70	20,17	-
x	401	140,02	845	86	-	-	1,74	12,65	-

Serie	σ_m	Xm	σ_{10}
n = 2	kPa	%	kPa
x	-	-	13

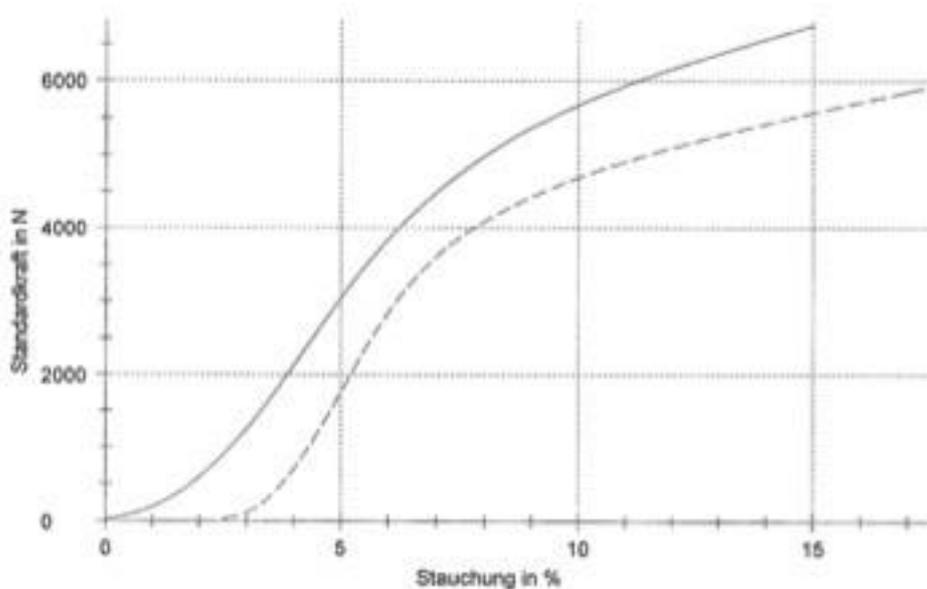
Приложение 20: Испытание на прочность минераловатных образцов с кровли №3: образцы 6-7

Результаты:

Vorgabewert Stauchung σ_1 : 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m ³	E _{low} N	E* kPa	F _{max} N	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa	Bemerkung
1	18.04.2011	300,0	300,0	119,7	164,37	1800	993	6751	-	-	19,73	67,54	-	trocken feucht
2		300,0	300,0	118,2	324,11	1800	1291	5920	-	-	25,74	59,37	-	

График:



Оценка:

Serie	A ₀ cm ²	Dichte kg/m ³	F _{max} N	E* kPa	Xm %	σ_m kPa	σ_2 kPa	σ_{10} kPa	σ_x kPa
n = 2									
min	900	164,37	5920	993	-	-	19,73	59,37	-
max	900	324,11	6751	1291	-	-	25,74	67,54	-
x	900	244,24	6338	1142	-	-	22,74	63,46	-

Serie	σ_m kPa	Xm %	σ_{10} kPa
n = 2			
x	-	-	63

Приложение 21: Испытание на прочность минераловатных образцов с кровли №3