



## Воздухопроницаемость элементов зданий

### КАКИЕ НЕОБХОДИМЫ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВОГО И КОМФОРТНОГО МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ?

#### СОДЕРЖАНИЕ

- Краткие итоги
- Введение
- Комфортные микроклимат и влажность воздуха внутри помещения
- Конденсат на поверхностях элементов здания
- Накопление влаги конструкциями здания
- Сравнение переноса влаги путем диффузии с вентилируемым воздухообменом
- Выводы

\*\*\*

#### КРАТКИЕ ИТОГИ

Некоторые участники рынка утверждают, что воздухонепроницаемые конструкции здания являются причиной нездорового климата внутри помещений. Они призывают к использованию «дышащих» элементов здания и «дышащих» теплоизоляционных изделий.

Якобы только с их помощью можно совмещать теплоизоляцию с защитой от переувлажнения, а также обеспечить удаление влаги и опасных веществ путем воздухообмена.

Такие заявления вводят в заблуждение и приводят к тому, что некоторые реальные физические термины заменяют придуманным термином «дышащие». В строительной физике и при стандартизации подобный термин не используется, вместо этого оценивают такие физические явления, как конденсация водяных паров на внутренних поверхностях, накопление влаги внутри элементов здания, диффузия водяного пара через наружные элементы здания и перенос влаги за счет объемного воздухообмена и контролируемой вентиляции.

Исследования показывают, что комфортные и безопасные с санитарно-гигиенической точки зрения здания нуждаются в достаточном уровне теплоизоляции и контролируемом воздухообмене за счет вентиляции.

При этом не имеет значения, какие теплоизоляционные материалы используются – воздухопроницаемые или воздухонепроницаемые. Полиуретановые теплоизоляционные изделия обеспечивают превосходные уровни изоляции и соответствуют требованиям зданий с низким энергопотреблением.

Конденсация водяного пара на холодных поверхностях внутри помещения может обеспечить питательную среду для образования плесени. Для предотвращения этого процесса необходимо обеспечить достаточный уровень теплоизоляции строительного элемента. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать появления мостиков холода, так как они могут вызвать локальное образование конденсата, даже если здание в целом хорошо теплоизолировано. Теплоизоляционные материалы с закрытыми порами, такие как пенополиуретан имеют дополнительное преимущество, так как они снижают риск конденсации внутри теплоизоляционного слоя. Для воздухопроницаемых теплоизоляционных материалов может потребоваться дополнительная гидроизоляция.

Уровни влажности в помещениях меняются в зависимости от внешних климатических условий и внутренних параметров. Накопление влаги на поверхностных слоях элементов здания

может способствовать поддержанию влажности на относительно стабильном уровне. Исследования показали, что теплоизоляция в данном процессе играет незначительную роль, поскольку эффект накопления в основном ограничен слоем покрытия, который непосредственно контактирует с воздухом внутри помещения. Поэтому нет смысла использовать влагопроницаемую или «дышащую» теплоизоляцию.

Избыток влаги в воздухе внутри помещения должен удаляться через контролируемую вентиляцию. Даже в экстремальных условиях влагообмен путем диффузии (воздухопроницаемость) через оболочку здания можно объяснить лишь незначительной частью общей потребности в воздухообмене.

\*\*\*

## ВВЕДЕНИЕ

Люди проводят до 90% своей жизни в зданиях: жилые дома, школы, офисы, заводы или торговые центры. Поэтому обеспечение здорового и комфортного микроклимата в помещениях зданий имеет важнейшее значение [1].

В то же время новые и существующие здания должны соответствовать все более и более высоким уровням энергоэффективности, которые требуют большей толщины теплоизоляционных слоев и высокой степени воздухопроницаемости оболочки здания, чтобы избежать тепловых потерь от неконтролируемых воздушных потоков (рисунок 2).

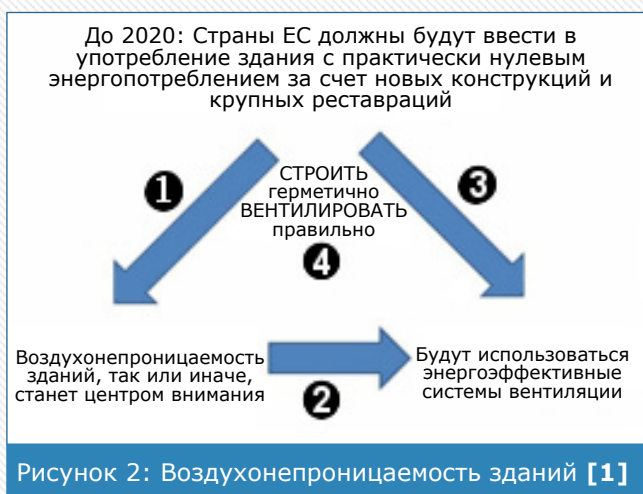


Рисунок 1: Энергосберегающий дом с теплоизоляцией из пенополиуретана ([www.polyurethanes.org/passivehouse/](http://www.polyurethanes.org/passivehouse/))

Некоторые участники рынка утверждают, что воздухонепроницаемые конструкции здания являются причиной нездорового микроклимата внутри помещений. Поэтому, якобы для поддержания необходимого санитарно-гигиенического уровня влажности в помещении необходимо применять воздухопроницаемую теплоизоляцию.

Однако на практике некоторые физические явления путают с термином «дышащие». В строительной физике и при стандартизации этот термин не используется, а сами явления рассматриваются отдельно:

- конденсация водяного пара на внутренних поверхностях;
- накопление влаги в элементах здания;
- диффузия водяного пара через наружные элементы здания;
- перенос влаги за счет объемного воздухообмена и контролируемой вентиляции.

Данный информационный бюллетень проанализирует эти явления на основании двух исследований:

- Исследование накопления влаги, проведенное Центром технических исследований (Финляндия) [2]: *Обзор концепции «дышащих» конструкций зданий: Влияние теплоизоляционных материалов;*

- Сравнение переноса влаги путем диффузии с воздушной вентиляцией, проведенное Кембриджским институтом научных исследований в области архитектуры «Cambridge architectural Research Ltd.» (CaR) [4]: *Влагоперенос и значение воздухопроницаемости в зданиях.*

\*\*\*

## КОМФОРТНЫЕ УСЛОВИЯ И ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ

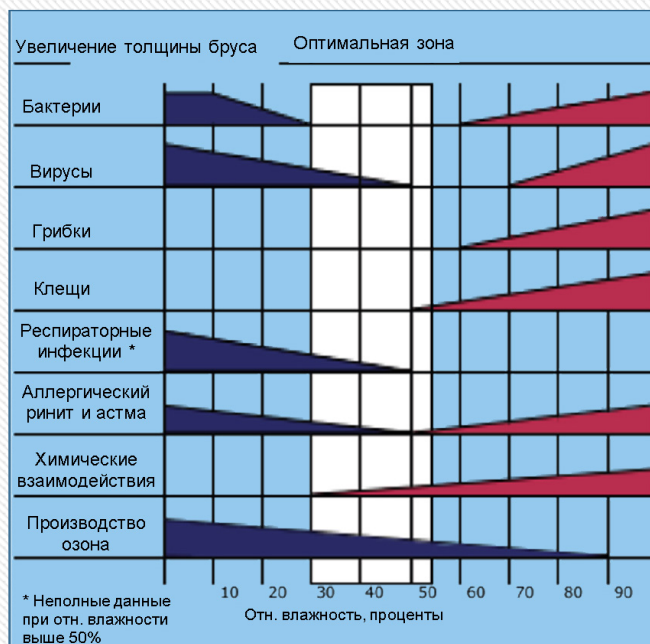


Рисунок 3: Влияние влажности на некоторые санитарно-гигиенические параметры и качество воздуха в помещении, показывающие, что наиболее приемлемый диапазон относительной влажности – от 30% до 55%

Уровень влажности в помещении зависит от различных факторов, таких как климатические условия, источники влаги, мощность вентиляции, свободный объем помещения, величины поглощения влаги строительными материалами и их контакт с воздухом внутри помещения.

## КОНДЕНСАЦИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ

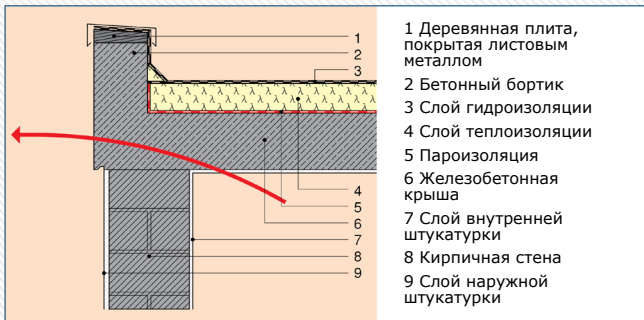
Для обеспечения здорового климата внутри помещений необходим определенный уровень влажности внутри здания [2]. Количество влаги, которое может содержаться в воздухе, зависит температуры. Если температура внутренней поверхности элементов здания падает ниже критического значения (например, в зимнее время), то влага будет конденсироваться на холодных поверхностях, а риск роста плесени значительно возрастет. Стандарт DIN 4108 устанавливает критическую температуру внутренних поверхностей для Германии на

уровне 12,6°C и относительной влажности до 70%.

Существует два способа избежать конденсации на поверхности:

- Уменьшить содержание влаги в воздухе с помощью вентиляции (открытие окон и т.д.); но это приведет к потерям энергии и может снизить уровень влажности до некомфортного уровня.

\*\*\*



- 1 Деревянная плита, покрытая листовым металлом
- 2 Бетонный бортик
- 3 Слой гидроизоляции
- 4 Слой теплоизоляции
- 5 Пароизоляция
- 6 Железобетонная крыша
- 7 Слой внутренней штукатурки
- 8 Кирпичная стена
- 9 Слой наружной штукатурки

Рисунок 4: Мостик холода через чердак (Источник: Руководство Ассоциации производителей полиуретана (IVPU) Теплоизоляция плоских крыш жестким пенополиуретаном, 2011, стр. 8)

- Повысить температуру поверхности путем повышения уровня теплоизоляции элементов ограждающей конструкции.

Мостики холода также могут привести к критическим локальным зонам, в которых низкая температура поверхности может привести к поверхностной конденсации влаги.



- 1 Деревянная плита, покрытая листовым металлом
- 2 Полиуретановая изоляция на бетонном бортике
- 3 Бетонный бортик
- 4 Слой гидроизоляции
- 5 Слой полиуретановой теплоизоляции
- 6 Пароизоляция
- 7 Железобетонная крыша
- 8 Слой внутренней штукатурки
- 9 Кирпичная стена
- 10 Полиуретановая теплоизоляция на наружной стороне стены
- 11 Слой наружной штукатурки

Рисунок 5: Пенополиуретановая теплоизоляция препятствует образованию мостика холода через чердачное пространство (Источник: Руководство Ассоциации производителей полиуретана (IVPU) Теплоизоляция плоских крыш жестким пенополиуретаном, 2011, стр. 8)

В примере на **рисунке 4** показано соединение плиты перекрытия и стены без теплоизоляции, что приводит к потере тепла и падению температуры внутренней поверхности ниже точки росы. Благодаря бесшовному теплоизоляционному слою, как показано на **рисунке 5**, мостиков холода, а следовательно и конденсации, можно избежать.

\*\*\*

## НАКОПЛЕНИЕ ВЛАГИ КОНСТРУКЦИЯМИ ЗДАНИЯ [2]

### Общие сведения

Концепция накопления влаги конструкциями здания может быть определена как гигротермические взаимодействия между конструкциями здания и воздухом внутри помещений. Эти взаимодействия могут влиять на комфортные условия воздуха внутри помещения за счет уменьшения временных пиковых значений влажности, которые могут повлиять на тепловой комфорт и ощущаемое качество воздуха в помещении. Такие пики влажности, например, могут иметь место в ночное время в спальне.

### Накопление влаги строительными материалами и конструкциями

С целью повышения теплового комфорта и ощущаемого качества воздуха в помещении за счет пассивных конструктивных методов был разработан метод «Nordtest» [3] С его помощью можно количественно измерить накопление влаги в различных слоях строительных материалов. На **рисунке 6** приведены материалы с количественной оценкой их способности к накоплению влаги.

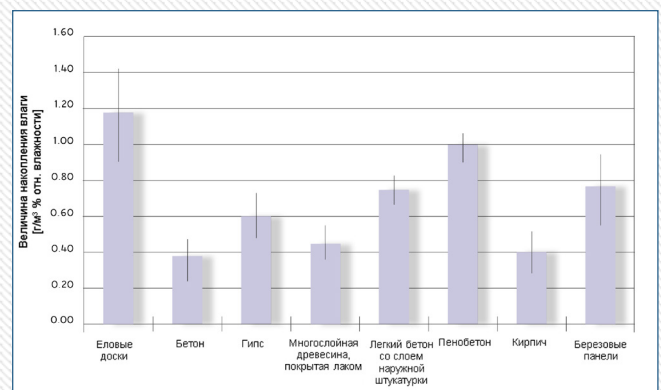


Рисунок 6: Величина накопления влаги для некоторых стандартных строительных материалов, каждый из которых измерялся в трех разных лабораториях с использованием трех образцов.

Центр технических исследований «VTT» при помощи численного эксперимента изучил роль слоя теплоизоляции в эффекте накопления влаги. Цель состояла в том, чтобы показать, какое количество влаги может храниться в теплоизоляционном слое за внутренней поверхностью стены. В **таблице 1** представлены различные варианты, которые охватывал этот эксперимент.

Код варианта	Внутренний слой	Эксплуатационные свойства	Теплоизоляция	Эксплуатационные свойства	Другие слои
Влагоотт. + ТЦВ	Влагоотталкивающий слой	Очень низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Теплоизоляция из целлюлозного волокна	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	
Г + ТЦВ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Теплоизоляция из целлюлозного волокна	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	
ПДВП + ТЦВ	Пористая древесноволокнистая плита	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Теплоизоляция из целлюлозного волокна	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	
ПДВП + ПУ	Пористая древесноволокнистая плита	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Пенополиуретан	Низкая теплоёмкость, высокое сопротивление диффузии	
Деревянная панель + ТЦВ	Деревянная панель	Высокая теплоёмкость, высокое сопротивление диффузии	Теплоизоляция из целлюлозного волокна	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	
Г + МВ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Минеральная вата	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	
Г + ПУ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Пенополиуретан	Низкая теплоёмкость, высокое сопротивление диффузии	
Краска + Г + ТЦВ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Теплоизоляция из целлюлозного волокна	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Внутренняя краска, $S_d = 0,2$ м
Краска + Г + ПУ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Пенополиуретан	Низкая теплоёмкость, высокое сопротивление диффузии	Внутренняя краска, $S_d = 0,2$ м
П + СК + ТЦВ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Теплоизоляция из целлюлозного волокна	Высокая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Строительный картон 1 мм, $S_d = 0,8$ м
Г + СК + ПУ	Гипсокартон	Низкая теплоёмкость, низкое сопротивление диффузии	Пенополиуретан	Низкая теплоёмкость, высокое сопротивление диффузии	Строительный картон 1 мм, $S_d = 0,8$ м

Таблица 1: Численно решенные случаи

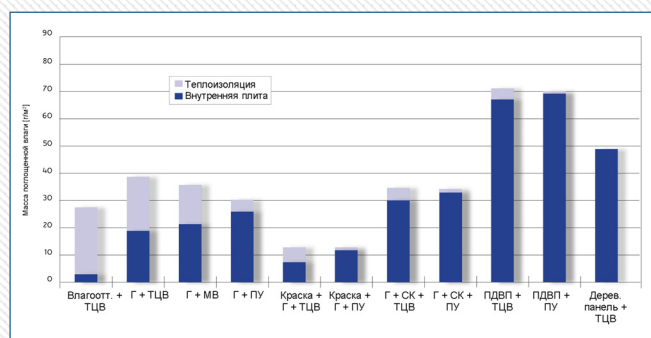


Рисунок 7: Накопление влаги в течение первых 8 часов после изменения граничных условий (от 50% до 75% относительной влажности)

Данные расчеты показывают незначительное влияние способности теплоизоляционного слоя к накоплению влаги при комнатных условиях влажности воздуха, если эффект накопления достигается за счет высокой способности материала к накоплению влаги внутри поверхностного слоя. Исследование показывает, что большая часть влаги накапливается в пористой древесноволокнистой плите (ПДВП) и что нет существенной разницы в том,

какой теплоизоляционный материал используется за древесноволокнистой плитой – с открытыми порами, как целлюлозное волокно, или с закрытыми, как полиуретановые плиты (рисунок 7).

При использовании в качестве поверхностных слоёв материалы с более низкой способностью к накоплению влаги (например, гипсокартонные листы) отмечалось некоторое увеличение влияния теплоизоляционного слоя с открытыми порами. Хотя эффект накопления ППУ плит ниже, общая способность элемента стены к накоплению влаги была примерно такой же.

Основное преимущество способности конструкций к накоплению влаги заключается в снижении пиковых значений влажности внутри помещения во время пребывания людей. При необходимости эффективного использования эффекта накопления влаги внутренняя поверхность материала должна иметь высокую способность к

накоплению влаги. При этих условиях возможность теплоизоляционного слоя к накоплению влаги не будет иметь значения.

Центр технических исследований «VTT» обнаружил, что эффект накопления имеет важное значение для сглаживания ежедневных колебаний влажности. Однако, при сравнении гигроскопичных паропроницаемых конструкций

с конструкциями, имеющими паронепроницаемую поверхность, в долгосрочной перспективе (несколько недель и больше) средние значения влажности были почти одинаковыми. В этом случае объемный воздухообмен за счет вентиляции станет очень важным средством регулирования влажности внутри помещения. Такое исследование было проведено Кембриджским институтом «CaR» [4].

\*\*\*

## СРАВНЕНИЕ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ ПУТЕМ ДИФфуЗИИ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМ ВОЗДУХООБМЕНОМ [4, 5]

Перенос влаги воздухом внутрь здания и наружу происходит с помощью двух механизмов: диффузии водяного пара через крыши, стены и полы здания и объемного воздухообмена (специально предназначенная или контролируемая вентиляция) ([5], рисунок 8).



Рисунок 8: Перенос влаги воздухом внутрь здания и наружу

На рынке существуют заблуждения относительно преимуществ воздухопроницаемой («дышащей») конструкции в целом и, в частности, воздухопроницаемой теплоизоляции, так как в некоторых зданиях (особенно в старых отреставрированных) вентиляция работает не достаточно хорошо. Сторонники таких заблуждений предупреждают, что влага будет скапливаться в «не дышащих» конструкциях зданий, что приведет к конденсации влаги на поверхностях. Это, в свою очередь, приведет к росту бактерий (плесени, пылевого клеща) со всеми вытекающими негативными последствиями.

Для того чтобы проверить эти утверждения, Кембриджский институт научных исследований в области архитектуры (CaR) изучил перенос влаги в зданиях и значение переноса влаги через элементы здания путем диффузии по сравнению с объемным воздухообменом за счет вентиляции [4].

Институт «CaR» исследовал стены с различными значениями паропроницаемости, воздействуя на них объемным воздухообменом с кратностью 0,5 воздухообменов в час. Ученые не рекомендуют более низкие уровни, чтобы избежать проблем со здоровьем. Даже при этом предельном значении контролируемая вентиляция составляет 95% переноса пара из дома с воздухопроницаемыми стенами. Расчеты показывают, что диффузия водяного пара через так называемые «дышащие» конструкции здания не оказывает существенного влияния на скорость переноса пара. Объемный воздухообмен за счет контролируемой вентиляции необходим для поддержания скорости воздухообмена на санитарно-гигиеническом уровне.

	Общая паропроницаемость стен (МН-с/г)	Расчетная относительная влажность внутри помещения	Перенос пара за счет диффузии
Стена 1	8	74 %	5.0 %
Стена 2	111	75 %	0.4 %
Стена 3	611	75 %	0.1 %

Таблица 2: Расчеты переноса влаги через стены с разной паропроницаемостью, выполненные институтом «CaR» [4]

**Из вышесказанного можно сделать следующий вывод:**

**Ключ к созданию и поддержанию комфортных санитарно-гигиенических условий внутри помещения лежит в хорошем тепловом расчете и достаточном уровне теплоизоляции, связанной с адекватным обеспечением объемного воздухообмена за счет контролируемой вентиляции. При этом не важно, является ли конструкция здания паропроницаемой.**

### Использованная литература

- [1] *Полиуретан и здоровье: Качество воздуха внутри помещения и полиуретановая теплоизоляция (Информационный бюллетень ассоциации «PU Europe» № 18, 2013 г.)*
- [2] *Изучение концепции воздухопроницаемой конструкции здания: Влияние теплоизоляционных материалов , Институт «VTT expert Services Ltd.», 2011 г.*
- [3] Роуд, К. и др., Проект норд-испытания по определению количественных показателей способности материалов к накоплению влаги, Протоколы конференции «AIVC», посвященной нормам энергетической эффективности, Брюссель, сентябрь 2005 г.
- [4] *Перенос влаги и значение воздухопроницаемости в зданиях, Кембриджский институт научных исследований в области архитектуры (CAR) – 2008 г.*
- [5] «Белая книга» о воздухопроницаемости, изд. 2, ноябрь 2009 г. – компания «Kingspan Insulation Ltd.»

Информация, содержащаяся в данной публикации, является, насколько нам известно, достоверной и точной, но мы не предоставляем каких-либо гарантий на рекомендации или предположения, которые могут возникнуть, так как условия использования и состав исходных материалов выходят за рамки нашего контроля. Более того, ничто из содержащегося в настоящем документе не должно толковаться как рекомендация к использованию какого-либо продукта, которое противоречит существующим патентам на какой-либо материал или его использование.