

**Вебинар 7**

## ОСНОВЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ И ЗАЩИТЫ ОТ ВЛАГИ

### 1 Общие сведения

Строительная физика до сих пор является относительно молодой поддисциплиной в строительстве. Начиная с первого нефтяного кризиса 1970-х годов, были предприняты первые усилия по экономии тепловой энергии. С течением времени вопросы теплоизоляции становятся все более комплексными и сложными. Еще одним направлением при проектировании зданий с точки зрения строительной физики является защита от влаги, которая во многих сферах непосредственно связана с теплоизоляцией. Кроме того, все большее значение приобретают аспекты звукоизоляции и противопожарной защиты. Поэтому строительная физика подразделяется на следующие четыре поддисциплины:

- Теплоизоляция
- Защита от влаги
- Звукоизоляция
- Пожарная безопасность

Главной задачей строительной физики является обеспечение постоянного комфорта в зданиях. Этот комфорт включает в себя не только хорошее самочувствие благодаря регулированию температуры, но и гарантию определенной влажности воздуха.

Соблюдение требований строительной физики обеспечивает долговечность здания в дополнение к комфорту. Повреждения здания часто вызываются влагой, которая может спровоцировать и ускорить разрушение конструкции здания. Соблюдение предписаний по теплоизоляции и защите от влаги позволяет избежать неоптимального состояния влажности в зданиях, что может нарушить долговечность конструкции и гигиену в помещениях.

### 2 Теплоизоляция

#### 2.1 Общие сведения

Комфорт описывает диапазон кондиционирования воздуха, в котором человек чувствует себя оптимально. Чувство комфорта особенно зависит от температуры воздуха в помещении, температуры поверхности, потока воздуха и влажности воздуха в помещении. Люди чувствуют себя наиболее комфортно при температуре от 20 до 24 °C и относительной влажности воздуха от 40 до 60%. Для обеспечения этого зимой необходимо искусственно вырабатывать тепло для обогрева помещений здания. В летнее время необходимо наоборот предотвратить повышенное нагревание помещений солнечными излучениями.

Поэтому с энергетической точки зрения здание является наиболее благоприятным, если оно требует как можно меньше энергии зимой для обогрева и как можно меньше энергии летом для охлаждения.

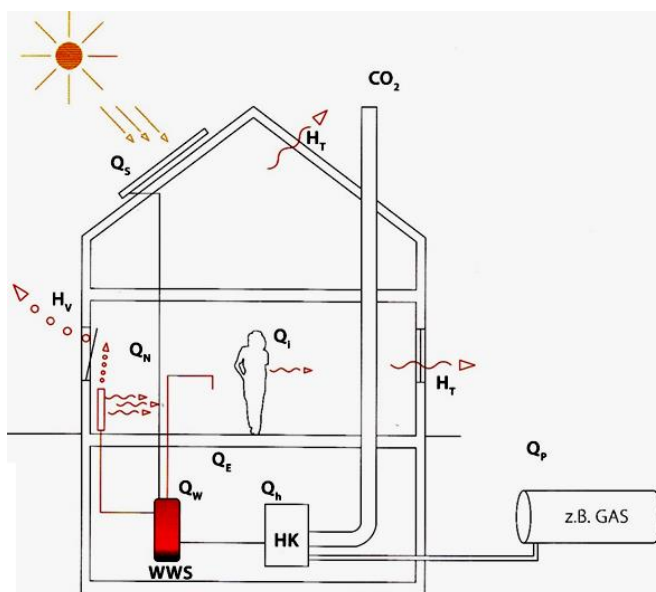
В Германии Постановление об энергосбережении (EnEV) является национальным правовым стандартом для улучшения и оценки общей энергоэффективности зданий. EnEV определяет минимальные строительные нормы, которые должны быть соблюдены для того, чтобы соответствовать вышеупомянутым требованиям. Первая версия вступила в силу 1 февраля 2002 года. В настоящее время действует EnEV 2016, а с 2021 года Постановление об энергосбережении будет заменено Законом об энергетике в зданиях (GEG). Тем не менее, действующие правила EnEV в основном остаются в силе. С помощью EnEV для зданий составляются энергетические балансы, учитывающие производство, накопление, распределение и передачу тепла в зданиях. Тем самым рассчитывается основной показатель – годовая потребность в первичной энергии. Энергоэффективность здания оценивается с помощью этого показателя. Чем меньше годовая потребность в первичной энергии, тем выше энергоэффективность рассматриваемого объекта.

## 2.2 Зимняя теплоизоляция

Потребность в тепле объекта недвижимости в основном зависит от качества строительства здания. Оболочка здания не может полностью избежать потери тепла. В зданиях происходят потери тепла через наружные ограждения и вентиляцию. Под теплопотерями через наружные ограждения подразумевается выход тепла через строительные элементы. Чем лучше изолирована оболочка здания, тем ниже данные теплопотери. Потери тепла при вентиляции происходят за счет обмена воздуха через стыки и окна. Оболочка здания никогда не бывает полностью герметичной. Окна и двери всегда обеспечивают определенный воздухообмен. Для минимизации потерь тепла через вентиляцию оболочка здания должна быть как можно более герметичной.

Требования, предъявляемые в связи с теплоизоляцией к качеству ограждающих конструкций зданий и инженерной технике, в основном регулируются нормами DIN 4108, Постановлением об энергосбережении (EnEV 2016) и DIN V 18599.

На рисунке 1 схематично показаны факторы, влияющие на энергетический баланс здания. Помимо неизбежных потерь, на потребность в энергии влияют также поступления солнечной и внутренней энергии, которые могут оказывать положительное воздействие на энергетический баланс. Солнечные поступления могут активно использоваться в виде фотовольтаики или солнечных коллекторов или пассивно посредством солнечного излучения через поверхности окон.



$Q_H$ : Потребность в тепле в результате отопления  
 $H_v$ : Потери тепла через вентиляцию  
 $H_t$ : Потери тепла через ограждающие конструкции  
 $Q_i$ : Внутренние поступления (люди, оборудование)  
 $Q_s$ : Поступления солнечного тепла  
 $Q_w$ : Потребность в подогреве питьевой воды  
 $Q_p$ : Потребность в первичной энергии  
 $Q_e$ : Потребность в конечной энергии  
 $Q_N$ : Потребность в полезной энергии  
WWS: Бойлер  
HK: Отопительный котел

**Рисунок 1:** Энергетический баланс здания<sup>1</sup>

Кроме того, на спрос на энергию влияет эффективность систем подачи тепловой энергии и горячей воды.

## 2.2.1 Потери тепла через ограждающие конструкции

Основой для минимизации тепловых потерь через ограждающие конструкции является теплоизоляция оболочки здания. Теплоизоляция состоит из материала с низкой теплопроводностью. Теплопроводность теплоизоляционных материалов значительно снижается за счет введения воздушных пор в основной материал. Распространенными теплоизоляционными материалами являются вспененные пластмассы, такие как полистирол или полиуретан, или минеральные волокна, такие как каменная вата или стекловата. Принцип действия этих теплоизоляционных материалов основан на том, что воздух является относительно плохим теплопроводником по сравнению с компактными строительными материалами.

Теплофизические свойства теплоизоляции описываются так называемой теплопроводностью  $\lambda$ . Это свойство материала определяется как тепловой поток, который проходит через слой материала размером  $1\text{ м}^2$  и толщиной  $1\text{ м}$  при перепаде температур в  $1\text{ К}$ . Чем ниже теплопроводность, тем лучше изоляционная способность.

Теплопроводность  $\lambda$  [в Вт/мК] (свойство строительного материала)

В таблице 1 приведены примеры теплопроводности некоторых избранных строительных материалов.

<sup>1</sup> Хайнер М.: Инженерная техника здания для архитекторов

**Таблица 1:** Теплопроводность  $\lambda$  строительных материалов

Строительный материал	Теплопроводность $\lambda$ [в Вт/мК]
бетон	2,1
цельный / силикатный кирпич	1,0
облегченный пустотелый кирпич	0,20 – 0,40
сталь	порядка 40
дерево	0,10 – 0,20
пенополистирол	0,025 – 0,035
пенополиуретан	0,020 – 0,035
минеральная вата	0,032 – 0,050

С другой стороны, теплоизоляционные свойства строительного элемента (например, стены, окна) представлены коэффициентом теплопередачи  $U$ . Значение  $U$  определяет количество тепла, проходящего через  $1\text{м}^2$  строительного элемента, когда разница температур между двумя смежными воздушными слоями составляет  $1\text{К}$ . Значение  $U$  зависит от выбранных материалов и соответствующей толщины слоя. Например, теплоизоляция имеет большую теплоизоляционную способность, чем толще ее слой. Чем ниже значение  $U$ , тем лучше изолирующая способность строительного элемента.

Коэффициент теплопередачи  $U$  [Вт/м<sup>2</sup>К] (свойство строительного элемента)

Действующее в настоящее время EnEV 2016 не предъявляет никаких явных требований к значению  $U$ , которое должно соблюдаться при строительстве новых зданий. В рамках этих правил должно быть доказано, что новое планируемое здание по энергетическим требованиям лучше сопоставимого эталонного здания, по крайней мере, на 25%. В этом случае эталонное здание геометрически похоже на планируемое новое здание и оснащено четко определенным качеством энергии с точки зрения ограждающей конструкции здания и инженерной техники.

Для санации существующих зданий EnEV 2016 определяет энергетическое качество ограждающей конструкции здания в виде максимально допустимых значений  $U$  для отдельных строительных элементов. Эти минимальные требования обобщены в таблице 2.

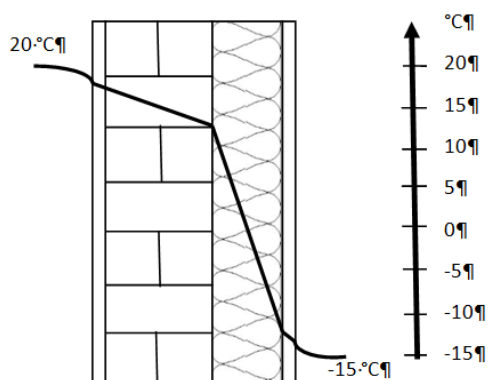
**Таблица 2:** Максимально допустимые значения  $U$  в соответствии с EnEV 2016 для санации существующих зданий

Строительный элемент	макс. $U$ [Вт/м <sup>2</sup> К]	Необходимая толщина изоляции ( $\lambda = 0,035$ )
наружная стена против наружного воздуха	0,24	14
наружная стена против земли	0,30	10
потолки, крыши и скаты крыши	0,22	20*)
плоские крыши	0,20	16
окна	1,30	
мансардные окна	1,40	

\*) для изоляции между стропилами, доля древесины 15 %

EnEV 2016 не ужесточает требования по обращению с существующими зданиями по сравнению с предыдущей версией 2009 года. Для новых зданий, с другой стороны, текущая версия EnEV предусматривает ужесточение требований на 25% по сравнению с предыдущей версией. Это означает, что новое здание согласно EnEV 2016 может иметь только 75% годовой потребности в первичной энергии по сравнению с EnEV 2009. Таким образом, толщина изоляции новых зданий в Германии будет продолжать увеличиваться. Толщина стен, например, будет определяться уже не несущей конструкцией (кладкой), а, главным образом, требуемой толщиной изоляции.

В принципе, теплоизоляция должна быть установлена снаружи, если это возможно. Таким образом, наружная стена также нагревается при обогреве помещений и может использоваться в качестве аккумулятора. Это выгодно, так как после отключения отопления (например, ночного снижения температуры) стены могут выделять остаточное тепло в помещение. Помещение не охлаждается так быстро, а разница между дневной и ночной температурой невелика. Кроме того, стена может высыхать быстрее при воздействии влаги, если она теплая. Кроме того, внешняя теплоизоляция предотвращает охлаждение стены ниже точки замерзания. Таким образом, можно безопасно избежать повреждений от мороза. На рисунке 2 показан пример распределения температуры в изолированной стене при температуре внутри 20 °C и снаружи -15 °C.



**Рисунок 2:** Распределения температуры в изолированной стене

Еще одной опасностью является образование конденсата в конструкции. При наружной изоляции эта опасность значительно ниже, чем при внутренней изоляции фасадов.

При использовании внутренней изоляции точка росы в конструкции часто находится в зоне между изоляцией и кладкой. Это означает, что на этом месте оседает конденсат. Если конструкция выбрана неблагоприятно, то в холодное время года накапливается больше конденсата, чем может испариться в теплое время года. Это приводит к постоянному проникновению влаги в стену и способствует развитию плесени.

Если рассматривается применение внутренней изоляции, необходимо проконсультироваться со инженером-специалистом, который в течение года с помощью компьютера может моделировать температуру и содержание влаги в

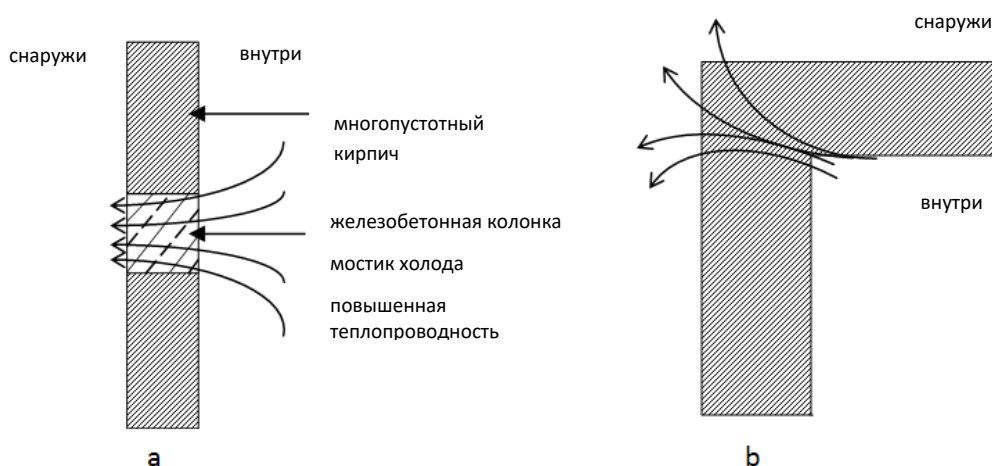
конструкции наружной стены. Необходимость в этой трудоемкой проверке пригодности теплоизоляции отпадает при использовании многих стандартных конструкций наружной изоляции.

### 2.2.3 Мостики холода

Мостик холода — это ограниченное место повышенной потери тепла. Через мостики холода тепло быстрее проходит изнутри наружу, чем через прилегающие участки. В основном, проводится различие между конструктивными/материальными и геометрическими мостиками холода.

Конструктивные/материальные мостики холода возникают в местах конструкций с различной теплопроводностью. Это может быть вызвано, например, изменением материала. На рисунке 3а показан план перекрытия внешней стены, состоящей из вертикально перфорированного кирпича и железобетонных колонн. Армированный бетон имеет более высокую теплопроводность, чем кирпичи с вертикальными отверстиями, что означает, что в этих местах больше энергии/тепла попадает из помещения наружу.

Геометрические мостики холода — это участки с различным соотношением внутренней и внешней поверхности. В наружном углу, показанном на рис. 3б, поверхность внутреннего угла может охлаждаться на значительно увеличенной наружной поверхности. Больше тепла выходит наружу в области угла здания. Здесь присутствует тот же принцип, что и в случае с охлаждающим ребром.



**Рисунок 3:** а) конструктивный/материальный мостик холода, б) геометрический мостик холода

Опасность, которую представляют мостики холода для конструкции здания, заключается, прежде всего, не в увеличении теплопотерь. Гораздо более важным является возможное ухудшение гигиены в помещениях. В связи с увеличением теплового потока на мостиках холода уменьшается температура поверхности с внутренней стороны. При определенных обстоятельствах это может привести к образованию конденсата на этих поверхностях. При постоянном воздействии влаги в области мостиков холода может образовываться плесень (см. также главу 3 "Влажность").

Мостики холода могут быть локализованы с помощью термографии. Для этого нужно сделать тепловизирный снимок фасада. Температура поверхности визуальным образом представлена различными цветами. Холодные области появляются в оттенках синего или зеленого, в то время как теплые поверхности представлены красновато-желтыми тонами. Мостики холода создают значительно более высокую температуру наружных строительных элементов. Поэтому дефекты и слабые места в оболочке здания видны в виде красных или желтых областей.

## 2.2.4 Потери тепла через вентиляцию

Помимо передачи тепла через наружные ограждения, энергия может выходить из помещений посредством воздухообмена. Контролируемый воздухообмен необходим для поддержания гигиены. Обмен воздуха в зданиях может происходить как естественным путем - путем открытия и закрытия окон, так и механическим путем - с помощью системы вентиляции.

Требования к качеству воздуха описываются термином скорость воздухообмена. Скорость воздухообмена определяется как объем воздуха, который сменяется в помещении в течение часа. Таким образом, скорость воздухообмена 0,5 означает, что 50% воздуха в помещении сменилось за час. Минимальная гигиеническая скорость воздухообмена в жилых помещениях составляет 0,3 (30 % в час), в то время как скорость воздухообмена 0,7 (70 % в час) обычно считается идеальной.

Негерметичность в оболочке здания может привести к воздухообмену до 2,0. Это означает, что даже без открытого окна происходит обмен большим количеством воздуха, чем это необходимо для обеспечения гигиены и комфорта. При ненужном обмене воздуха тепловая энергия, которая ранее была выработана отопительной системой за счет сжигания топлива, также покидает здание. Таким образом, в контексте вентиляции в жилых зданиях энергоэффективность означает минимизацию негерметичности в оболочке здания. Неплотные окна и двери должны быть заменены современными и плотно закрывающимися строительными элементами, которые сводят к минимуму потери тепла при вентиляции. Точное количество воздуха, подлежащего обмену, может быть эффективно установлено преимущественно с помощью системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

## 2.3 Летняя теплоизоляция

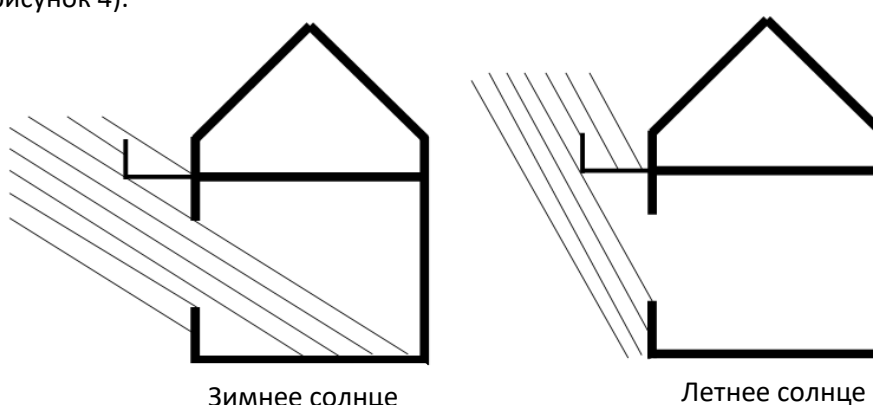
В отличие от зимней теплоизоляции, задачей летней теплоизоляции является предотвращение непропорционально высокого нагревания помещений из-за высоких наружных температур и особенно солнечных излучений. На летнюю теплоизоляцию влияют, в частности, размеры помещения, месторасположение и размеры окон, тип остекления, защита от солнца и теплоаккумулирующая способность используемых строительных материалов.

Дома часто ориентированы на юг. Несмотря на то, что это связано с желаемым повышением температуры зимой, это также приводит к значительному перегреву летом и особенно в переходные месяцы, когда солнце еще находится



на низком уровне. Летняя теплоизоляция также является частью правил по энергосбережению, но требования там действуют только в отношении строящихся зданий. В частности, в связи с санацией существующих зданий, следует обратить внимание на использование летней теплоизоляции. Летняя теплоизоляция — это, прежде всего, предотвращение попадания прямых солнечных лучей и использование аккумулирующей тепловой емкости массивных строительных элементов.

Летняя теплоизоляция может быть достигнута, например, за счет широких свесов крыш или балконов, которые летом затеняют окна под ними и уменьшают попадание прямых солнечных лучей. В тоже время, в зимние месяцы низменное солнце может проникать под затеняющие элементы и, таким образом, генерировать солнечную энергию и поддерживать отопление зданий (см. рисунок 4).

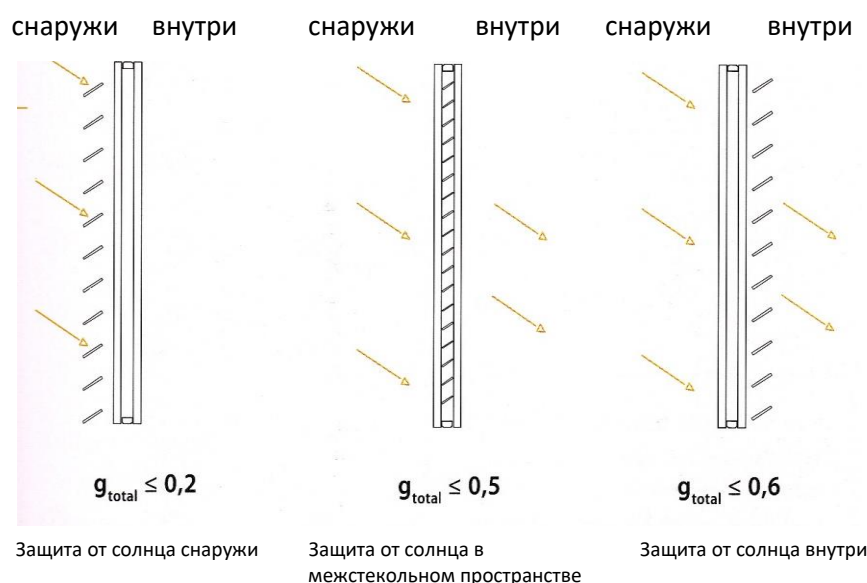


**Рисунок 4:** Солнечное излучение летом и зимой

Эффективное затенение должно быть установлено снаружи перед оконными стеклами. Внутренняя защита от солнца служит только для затемнения и в значительной степени неэффективна для предотвращения нагрева внутренних помещений. Для эффективности летней теплозащиты за счет затенения решающее значение имеет общий коэффициент прохождения энергии через поверхность окна. Солнечная энергия, которая не проникает в помещение, не может способствовать его нагреванию. Это означает, что чем эффективнее летняя теплоизоляция, тем меньше солнечной энергии поступает в помещения через фасад.

На рисунке 5 приведены справочные значения общего коэффициента пропускания энергии различными фасадными системами. Эффективное управление солнечной энергией достигается за счет разумного сочетания остекления и солнцезащитного устройства. Общий коэффициент пропускания  $g_{total}$  описывает долю энергии, которая поступает в помещение через солнечное излучение. В случае теплоизоляционного остекления это значение составляет от 55 до 65 %. С помощью солнцезащитных систем это значение может быть снижено до уровня ниже 20%.





**Рисунок 5:** Справочные значения общего коэффициента пропускания энергии различными фасадными системами<sup>2</sup>

Наряду с функциональным затенением, теплоаккумулирующая способность установленных материалов вносит еще один решающий вклад в летнюю теплоизоляцию. Температура воздуха и строительных элементов сильно колеблется в течение дня. Днем элементы здания поглощают тепло, а ночью снова его отдают. За счет накопления и отдачи тепла значительно снижаются суточные пики температуры в помещении. При использовании прочных конструкций нагревание во второй половине дня значительно ниже, чем при использовании легких конструкций, даже если была обеспечена достаточная теплоизоляция с точки зрения зимней теплозащиты. Поэтому массивные внутренние стены особенно эффективны для летней теплоизоляции. Керамические напольные и настенные покрытия могут поглощать тепло комнатного воздуха в полуденную жару и тем самым снижать нагревание помещения. Ночью и в прохладные утренние часы аккумулятор может выпускать тепло в воздух помещения, который затем может быть выведен на улицу с помощью вентиляции. Теплоизоляция, имеющая низкую плотность и, следовательно, низкую теплопроводность, не является подходящим аккумулятором тепла.

Оптимальное здание с точки зрения круглогодичной теплозащиты должно иметь эффективную теплоизоляцию снаружи для минимизации теплопотерь через ограждающие конструкции и состоять внутри из массивных аккумулирующих элементов. Таким образом, теплоизоляция и аккумулирование тепла дополняют друг друга.

Следует избегать установки систем кондиционирования воздуха в зданиях везде, где это возможно, так как охлаждение потребляет до четырех раз больше энергии, чем нагревание.

<sup>2</sup> Хайнер М.: Инженерная техника здания для архитекторов

### 3. Влага

Архитектура и строительство также означают, прежде всего, постоянную борьбу с водой. Для обеспечения функционирования здания, т. е. постоянной защиты от атмосферных воздействий, конструкция должна быть защищена от влаги. Влага является триггером для большинства структурных повреждений и обычно ускоряет коррозию/разрушение строительных материалов.

Защита от влаги разнообразна. Конструкции должны быть защищены от постоянного воздействия дождевой воды. Это достигается, например, за счет скатных крыш, которые быстро отводят воду. Кроме того, конструкция не должна поглощать воду через землю. Контактные с землей элементы здания, например, подвалы, должны быть изолированы. Кроме того, во время использования, например, при приготовлении пищи или принятии душа, влага также вырабатывается непосредственно в помещении, и, таким образом, воздействует на конструкцию.

#### 3.1 Влага в строительных элементах

Вода - единственное вещество, которое может встречаться в природе во всех трех состояниях одновременно. Однако для перемещения влаги в строительных элементах актуальны только жидкое и газообразное состояния. Твердая вода или лед не транспортируются внутри или через строительные материалы и конструкции. В то время как, транспортировка жидкой воды осуществляется при помощи потока или капиллярного всасывания. Газообразная вода или водяной пар транспортируется через строительные элементы посредством диффузии водяного пара.

Пористость строительных материалов в первую очередь отвечает за транспортировку влаги. Существует только два строительных материала, которые полностью без пор и, следовательно, полностью водонепроницаемы. Это металлы и стекло. Все остальные строительные материалы более или менее пористые и поэтому открыты для молекул воды, которые могут проникать в строительный элемент либо в газообразной, либо в жидкой форме.

##### 3.1.1 Жидкая вода

Так называемые капиллярные поры в основном отвечают за транспортировку жидкостей в строительных конструкциях. Влага очень быстро транспортируется на относительно большие расстояния через капиллярно-активные поры. Этот процесс происходит спонтанно, без подачи энергии. Капиллярное всасывание также называют всасыванием воды, так как вода поднимается в капиллярных порах строительного материала. Вода может также вертикально подниматься в элементах здания против силы тяжести. Высота подъема капилляра зависит от диаметра капиллярной поры. Чем меньше его диаметр, тем выше вода может капиллярно подниматься в материале. При использовании широко распространенных строительных материалов - бетона, кирпича или силикатного кирпича - высота подъема может составлять от одного до двух метров, в

зависимости от пористости. Это означает, например, что влага, проникающая в подвал - при отсутствии горизонтальной изоляции - может подняться до первого этажа. Эта поднимающаяся сырость связана с процессами, которые повреждают здание и вызывают появление плесени.

### 3.1.2 Водяной пар

Водяной пар попадает в пористые строительные материалы через воздух путем диффузии. Воздух никогда не бывает полностью сухим или свободным от водяного пара. Относительная влажность используется для характеристики содержания водяного пара в воздухе. В нем описывается содержание водяного пара в процентах по сравнению с максимальным количеством водяного пара, которое может быть поглощено. Таким образом, относительная влажность 50% означает, что воздух может поглощать столько же воды, сколько уже присутствует в нем. При относительной влажности воздуха 100% речь идет о воздухе, насыщенном водяным паром, или влажности насыщения. С этого момента воздух больше не может впитывать влагу. Это приводит к конденсации. Под конденсацией понимается переход воды из газообразного состояния в жидкое. Конденсация влаги на поверхностях или внутри строительных элементов может нарушить гигиену помещений и в следствие привести к образованию плесени, повреждению строительных конструкций и нанесению вреда их пользователям.

В отличие от относительной влажности, абсолютная влажность определяет содержание водяного пара в граммах на кубический метр воздуха ( $\text{г/м}^3$ ).

Максимальное количество водяного пара, которое может быть поглощено, зависит, прежде всего, от температуры. Холодный воздух может поглощать меньше водяного пара, чем теплый. Это означает, что, с одной стороны, холодный воздух насыщен водяным паром при более низкой абсолютной влажности, чем теплый, а с другой стороны, теплый воздух при той же абсолютной влажности всегда более сухой, чем холодный. Относительная влажность теплого воздуха ниже, чем холодного при той же абсолютной влажности. В таблице 3 показано содержание воды в воздухе при различных температурах и относительной влажности, и проиллюстрирована их взаимосвязь. Воздух с температурой 20 °C может поглотить максимум 17,29 грамм водяного пара на кубический метр воздуха; в тоже время воздух с температурой 0 °C может поглотить только 4,85 грамма на кубический метр. Эта абсолютная влажность соответствует относительной влажности 52 % при температуре 10 °C и 28 % при 20 °C.

**Таблица 3:** Содержание воды в граммах на кубический метр воздуха при различных температурах и относительной влажности воздуха

Температура воздуха (°C)	Относительная влажность воздуха (%)									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
20	17,29	15,56	13,83	12,10	10,37	8,65	6,92	5,19	4,67	4,15
18	15,37	13,83	12,30	10,76	9,22	7,69	6,15	4,61	4,15	3,69
16	13,63	12,27	10,90	9,54	8,18	6,82	5,45	4,09	3,68	3,27
14	12,07	10,86	9,66	8,45	7,24	6,04	4,83	3,62	3,26	2,90
12	10,67	9,60	8,54	7,47	6,40	5,34	4,27	3,20	2,88	2,56
10	9,41	8,47	7,53	6,59	5,65	4,71	3,76	2,82	2,54	2,26
8	8,28	7,45	6,62	5,80	4,97	4,14	3,31	2,48	2,24	1,99
6	7,26	6,53	5,81	5,08	4,36	3,63	2,90	2,18	1,96	1,74
4	6,36	5,72	5,09	4,45	3,82	3,18	2,54	1,91	1,72	1,53
2	5,56	5,00	4,45	3,89	3,34	2,78	2,22	1,67	1,50	1,33
0	4,85	4,37	3,88	3,40	2,91	2,43	1,94	1,46	1,31	1,16
-2	4,14	3,73	3,31	2,90	2,48	2,07	1,66	1,24	1,12	0,99
-4	3,52	3,17	2,82	2,46	2,11	1,76	1,41	1,06	0,95	0,84
-6	2,99	2,69	2,39	2,09	1,79	1,50	1,20	0,90	0,81	0,72
-8	2,53	2,28	2,02	1,77	1,52	1,27	1,01	0,76	0,68	0,61
-10	2,14	1,93	1,71	1,50	1,28	1,07	0,86	0,64	0,58	0,51

Помимо температуры, влажность является основным фактором, отвечающим за комфорт в помещениях. Люди чувствуют себя наиболее комфортно при относительной влажности воздуха 40 - 60%. При отклонении от этой влажности воздух в помещении воспринимается как некомфортно сухой или влажный. В используемых помещениях влажность постоянно повышается из-за приготовления пищи, принятия душа, потоотделения или дыхания. При помощи вентиляции влажность, как правило, можно регулировать в комфортных пределах. Необходимо следить за тем, чтобы относительная влажность не достигала влажности насыщения, и чтобы могла произойти конденсация.

Холодные помещения быстрее насыщаются водяным паром, чем теплые помещения. Опасность для конструкции здания, как правило, вызвана конденсацией влаги. Это происходит на самых холодных поверхностях элементов здания. В данном случае речь идет о падении температуры ниже точки росы. Температура точки росы — это температура, при которой достигается концентрация насыщения водяного пара. Относительная влажность воздуха в этот момент времени составляет 100%. Если воздух охлаждается, состояние воды меняется с газообразного на жидкое. Это изменение состояния происходит на холодных поверхностях.

Это явление можно наблюдать, например, на бутылке напитка, которая вынимается из холодильника. На холодной поверхности бутылки воздух локально очень сильно охлаждается. Если воздух затем падает ниже точки росы, избыточная влага конденсируется на поверхности бутылки с напитком. Бутылка запотекает.

Температура точки росы зависит от относительной влажности и температуры воздуха (см. таблицу 4). Чем влажнее воздух, тем выше температура точки росы. Это означает, что температура точки росы очень близка к температуре воздуха. И наоборот, это означает, что сухой воздух должен очень сильно охлаждаться до тех пор, пока температура не опустится ниже температуры точки росы. Поэтому сухие помещения менее склонны к конденсации, чем влажные помещения.

**Таблица 4:** Температура точки росы (°C) как функция относительной влажности и температуры воздуха

Температура воздуха [°C]	Относительная влажность воздуха [%]													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,3
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	3,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

## 3.2 Конструктивная защита от влаги

Конструктивная защита от влаги означает, что материалы и конструкции, восприимчивые к влаге, подвергаются минимальному воздействию воды. Вода либо не должна соприкасаться со строительными элементами, либо должна воздействовать на конструкцию только в течение короткого времени. Поэтому долговечные строительные элементы сконструированы таким образом, чтобы вода могла быстро отводиться и воздействовать на них только в течение как можно более короткого времени.

Поэтому в районах с частыми дождями дождевая вода отводится через скатную крышу, водостоки и водосточные трубы. В результате влага не может долгое время влиять на конструкцию крыши при функционировании водосточной

системы. Плоские крыши были установлены в Германии всего несколько десятилетий назад. Здесь влага медленно отводится и дольше воздействует на элементы здания. Плоские крыши герметизируются от атмосферных осадков с помощью подходящего уплотнения из пластмассовых листов.

Кроме того, фасады зданий в дождливых районах защищены от воздействия проливного дождя крышами с широким навесом. Навесы крыш и балконы эффективно отталкивают прямые дожди от поверхностей фасада и предотвращают постоянное проникновение влаги.

Контактирующие с землей элементы здания должны быть защищены от влаги путем изоляции. Эта изоляция состоит либо из битумных или пластиковых мембран, которые приклеиваются снаружи к стенам подвала по всей их поверхности, либо из битумных красок. Кроме стен подвала, нижняя сторона подвального этажа защищена от поднимающейся влаги слоем, прерывающим капиллярный подъем воды, и пластмассовым листом. Слой, прерывающий капиллярный подъем воды, как правило, представляет собой наполнитель из крупной гальки. Воздушные поры между этими камешками настолько велики, что они перестают быть капиллярно-активными, а влага не может подниматься вертикально. Вода, просачивающаяся сквозь землю, отводится контролируемым способом через дренажную трубу и не может оказывать длительное воздействие на стенки подвала. Для защиты цокольного этажа от поднимающейся капиллярной влаги в кладке встраивается горизонтальная изоляция. На рисунке 6 схематично показана структурная герметизация цокольного этажа.



Рисунок 6: Изоляция подвала

### 3.3 Защита от влаги, связанная с климатом

Защита от влаги, связанная с климатом, в Германии регулируется DIN 4108. Целью является предотвращение проникновения влаги и образования конденсата на поверхностях, что отрицательно сказывается как на гигиене помещений, так и на долговечности конструкций. Высокие концентрации влаги приводят к снижению

прочности, повреждению строительных материалов вследствие гниения и коррозии, повышению теплопроводности и образованию плесени. Термин "защита от влаги, связанная с климатом" охватывает все меры, предотвращающие попадание недопустимой влаги в строительные конструкции.

Как описано в главе 3.1.2, конденсация происходит, когда температура поверхности опускается ниже температуры точки росы воздуха в соседнем помещении. Однако этого утверждения недостаточно для оценки того, может ли появиться плесень, так как часто плесень может возникнуть от постоянной влажности порядка 80%. Поскольку вопрос конденсации зависит также от температуры поверхности наружных строительных элементов, важно предотвратить слишком сильное охлаждение этих поверхностей. Таким образом, защита от влаги, связанная с климатом, напрямую связана с теплоизоляцией в зимний период. Теплоизолированные стены охлаждаются гораздо меньше, чем неизолированные наружные стены. Поэтому при соответствующей теплоизоляции практически исключается опасность образования конденсата на поверхностях конструкций наружных стен.

В этом контексте особое внимание следует обратить на возможные мостики холода (см. главу 2.2.2 "Мостики холода"). В районе мостиков холода температура поверхности может быть значительно ниже, чем в соседних местах. В этих локальных точках выделение конденсата особенно высоко, а вместе с ним и риск вышеупомянутого ущерба.

В недостаточно изолированных зданиях трудно предотвратить конденсацию воды на внутренней стороне наружных элементов. В этих зданиях следует обеспечить необходимую скорость воздухообмена. Часто случаются повреждения в отремонтированных зданиях, которые были оборудованы новыми окнами, но стены не утеплены термоизоляцией. Через некоторое время здесь часто появляется плесень в областях окон. Причину этого повреждения можно обнаружить при недостаточной вентиляции.

Старые окна обеспечивали достаточный воздухообмен за счет неплотных оконных рам. Интенсивного проветривания в этих неутепленных домах практически не требовалось. Однако заново установленные в ходе санации окна значительно снижают потери тепла через вентиляцию. Окна теперь закрываются плотно. Это прерывает обмен воздуха. Если поведение пользователей не было адаптировано к новым условиям, то относительная влажность воздуха в помещениях будет постоянно возрастать за счет приготовления пищи, душа и т.д. Оконные проемы в неизолированных наружных стенах являются мостиками холода. Это означает, что при недостаточном воздухообмене на поверхностях с низкой температурой будет собираться конденсат и начнется образование плесени.

Единственным средством в этом случае является регулировка вентиляции. Окна следует открывать полностью на несколько минут несколько раз в день. Благодаря так называемому быстрому сквозному проветриванию воздух в помещении за короткое время полностью меняется, а помещение осушается. Вентиляция путем откидывания окон в холодное время года в этом случае совершенно непродуктивна, так как обмен воздуха занимает очень много



времени (до одного часа). За это время область окна очень сильно охлаждается за счет холодного поступающего наружного воздуха. Таким образом, эффект мостиков холода еще более усиливается. Формирование плесени в этих помещениях невозможно избежать.

## Список литературы

Hayner, M., et al. (2010): Faustformel Gebäudetechnik für Architekten, München, Deutsche Verlags-Anstalt / Хайнер М.: Инженерная техника здания для архитекторов, Мюнхен

DIN 4108 Teil 2 (2013-02), 3 (2001-07), 4 (2013-02), 6 (2004-03), 7 (2011-01), 10 (2008-06) Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden / Теплозащита и экономия энергии в зданиях

Energieeinsparverordnung für Gebäude 2016 (EnEV 2016), Fassung Mai 2014 / Положение об экономии энергии в зданиях 2016 (EnEV 2016), выпуск май 2014

*Информация предоставлена проф. др. Армин Юст, Бизнес-школа, Европейский образовательный центр жилья и недвижимости (ЕБЦ), г. Бохум, Германия*